Institut royal des Sciences naturelles de Belgique | Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen

BULLETIN | MEDEDELINGEN

Tome XXXVIII, n° 45 | Deel XXXVIII, nr 45

Bruxelles, novembre 1962. | Brussel, november 1962.

PROPOS SUR L'IMPORTANCE DES FLUCTUATIONS DE L'ACTIVITE SOLAIRE DANS LE DETERMINISME DES TRANSGRESSIONS MARINES ET D'AUTRES FACTEURS PHYSIQUES DE L'EVOLUTION DE LA BIOSPHERE,

par Edgard CASIER (Bruxelles).

INTRODUCTION.

L'importance du rôle joué dans les transformations biologiques par des facteurs que l'on est convenu de qualifier d'externes n'est plus à démontrer. Qu'ils soient générateurs de modifications écologiques ou d'autres, ils se ramènent directement ou indirectement à des phénomènes physiques dont certains agissent sous nos yeux, dans la biosphère actuelle, et dont l'ampleur qu'ils durent présenter parfois dans le passé nous est, dans une certaine mesure, révélée par l'étude des faunes et flores fossiles.

On connaît, par exemple, l'importance des modifications géographiques et climatiques en cette matière. On sait de même que, pour ce qui est des premières, elles sont attribuables essentiellement aux transgressions (ou aux régressions), en partie aux surrections (ou aux effondrements), dans une moindre mesure à l'érosion (ou au contraire aux apports de sédiments), et à d'autres phénomènes encore, tandis que les secondes, les variations climatiques, trouvent en partie leur cause dans les premières et, pour le reste, dans des phénomènes au nombre desquels il faut placer, selon toutes apparences, un certain nombre de ceux que l'on sait ou que l'on soupçonne être dus à des fluctuations de l'activité solaire.

Faut-il rappeler que les modifications de la biosphère elles-mêmes consistent principalement en changements de la répartition des formes soit par leur expansion (prochorèses), soit par leur déplacement (esbolies),

éventuellement par leur déclin et leur extinction, ces derniers résultant, en outre, du caractère relatif et par conséquent précaire de leur adaptation en présence des conditions de milieu et des rapports écologiques nouvellement établis ?

Si l'on admet que ces changements peuvent être, dans certains cas, favorables à la diversification par augmentation des chances de mutation, on s'est cependant demandé si un accroissement du taux de mutation n'est pas en partie dû aussi à l'intervention, qui serait en quelque sorte inductrice, d'autres facteurs également physiques.

Ce qui porte à le croire, ce sont les modifications importantes des faunes et flores au passage d'une période géologique à la suivante — au grand profit d'ailleurs des corrélations stratigraphiques —, et qui constituent un fait généralement reconnu. Si, pour certains paléontologistes, elles ne seraient pas brusques et n'indiqueraient aucun rapport avec ce passage d'une unité stratigraphique à une autre, il y a cependant des faits qui tendent à leur faire reconnaître tout au moins un caractère de soudaineté relative.

Les faunes, tant marines que continentales, du début de l'Eocène, dans le Bassin anglo-franco-belge, laissent l'impression très nette d'une véritable rénovation et l'on ne peut, d'autre part, noter que des modifications mineures au passage d'un étage à l'autre de cette même période. Si certaines des apparitions brusques, en un lieu donné, pourraient, comme on l'a d'ailleurs déjà supposé, résulter du fait que les formes intéressées ont pu évoluer entre-temps ailleurs (1), il serait bien difficile d'expliquer ainsi la totalité des cas. Il est d'ailleurs bien connu que l'évolution de divers groupes a connu des moments « d'emballement » (2).

Les exemples de tels changements apparemment rapides ne manquent pas et il convient moins d'en renforcer le nombre que de chercher à en tirer parti pour tenter à la fois d'établir quels facteurs sont à leur origine et d'expliquer le synchronisme de leur action, synchronisme qui suggère immédiatement un déterminisme initial à partir d'une seule et même grande cause.

Voir comment pourraient se raccorder entre eux, par des liens de causalité, les facteurs les plus susceptibles d'être à l'origine de telles transformations, rechercher cette éventuelle cause commune à l'ensemble des phénomènes en jeu, tels seront les buts des lignes qui vont suivre.

Ce sera l'occasion de voir dans quelle mesure certaines hypothèses sont conciliables avec les faits, notamment paléobiogéographiques.

(1) Ce dut être le cas pour un poisson du London Clay, le genre *Eocoelopoma* (Fam. Scombridae), qui est manifestement le descendant direct, très peu modifié d'ailleurs, en ce qui concerne au moins le squelette céphalique, du genre *Landanichthys* du Paléocène de l'enclave portugaise de Cabinda (Congo).

(2) « Emballement » dont les conséquences (radiations évolutives) peuvent être suivies rapidement de déclin (seul cas dans lequel s'indique le terme d'*explosion*). (Cf. ROMER, 1960.)

Pour la facilité de l'exposé, j'ai pensé qu'il serait bon de sérier les faits et hypothèses en quatre groupes :

1°) ceux relatifs aux facteurs physiques pouvant être responsables des modifications géographiques;

2°) ceux concernant les facteurs intéressant principalement des modifications climatiques et météorologiques;

3°) ceux concernant des facteurs qui découlent *a priori* des variations d'intensité du rayonnement solaire;

4°) ceux relatifs à des facteurs divers.

Un premier paragraphe traitera des premiers. Ceux visés sub 2° et 3° feront l'objet d'un second paragraphe et ceux du 4°, d'un troisième paragraphe.

Le sujet exigeant l'examen de problèmes qui se touchent par bien des aspects, cet arrangement n'implique nullement une classification rigide des phénomènes qui, dans plusieurs cas, pourraient trouver place dans deux de ces groupes et peuvent même parfois se conditionner mutuellement; il ne constitue qu'un compromis.

Dans tous les cas, un appel devra être fait à des données et hypothèses relevant de disciplines diverses, et à l'extrapolation des données basées sur l'observation des phénomènes physiographiques actuels dans un essai d'explication générale de l'ensemble des faits correspondants du passé, ensemble qu'on pourrait appeler la Paléophysiographie (3) de notre planète.

La question des transgressions marines, à voir avec les phénomènes du premier groupe, a fait l'objet d'excellentes études et de synthèses. C'est ainsi qu'une bonne partie des données seront empruntées aux travaux de H. et G. TERMIER (1952, 1959), travaux qui font autorité, notamment en ce qui concerne les transgressions et leur incidence sur le devenir des faunes et des flores.

Une source importante de renseignements nous est offerte d'autre part par les études faites sur les modifications de la Flore en relation avec celles du milieu ambiant, études auxquelles se sont livrés divers auteurs parmi lesquels il faut surtout relever ceux qui se sont penchés sur les problèmes du Carboniféro-Permien (W. J. JONGMANS, G. MATHIEU).

J'aurai toutefois l'occasion d'utiliser quelques-unes de mes propres observations faites au cours d'études sur des faunes paléoichthyologiques du Bassin anglo-franco-belge (1943, 1946), de l'Afrique équatoriale (1957, 1961), ainsi que celles résultant de mon « *Essai de Paléobiogéographie des Euselachii* » (1954).

Un appel devra aussi être fait à des données étrangères à la Paléontologie et à la Géologie. S'il est hors de question pour moi d'en discuter de

(3) Ensemble formé par la Paléogéographie, la Paléoclimatologie, la Paléocéanographie, le Paléogéomagnétisme, le Paléovolcanisme.

façon exhaustive, ces données — des faits et hypothèses — sont cependant à prendre en considération dans la mesure où elles peuvent apporter une indication sur l'enchaînement des interactions à considérer. Heureusement, en ces domaines aussi existent des travaux, dont certains, remarquables, sur les mouvements actuels des eaux océaniques (O. PETTERSSON, 1905; le même avec d'autres, 1901; LALLEMAND et PRÉVOT, 1929; LE DANOIS, 1921, 1938 et 1950), d'autres encore, de non moins grande valeur, sur les relations existant entre diverses manifestations relevant de la Géophysique ou de l'Astronomie (A. DAUVILLIER, 1960; BERNARD, 1945; MELCHIOR, 1955, 1959; VAN MIEGHEM et Al., 1959). Le recours aux conclusions et hypothèses d'auteurs tels que ceux qui viennent d'être cités constituera une garantie de ne point bâtir sur l'erreur, ni sur un terrain par trop incertain.

Je dois d'utiles renseignements verbaux à M. P. MELCHIOR, de l'Observatoire royal de Belgique et Directeur du Centre international des marées terrestres, à qui j'exprime ici ma reconnaissance. J'adresse, de même, mes remerciements à M. W. VAN LECKWIJK, Directeur du Centre national de Géologie houillère, de l'amabilité qu'il a eue de prendre connaissance de mon manuscrit, d'émettre quelques remarques intéressantes à son sujet et, plus spécialement, d'avoir discuté avec moi de certains aspects de la question des transgressions marines. Merci aussi à M. L. FEUGUEUR, Ingénieur au Bureau de Recherches géologiques et minières (Paris), pour m'avoir aidé dans la recherche de documents bibliographiques.

I. — LES TRANSGRESSIONS ET AUTRES FACTEURS DES TRANSFORMATIONS GEOGRAPHIQUES.

Les transgressions marines ayant manifestement joué le rôle le plus important dans les modifications de la biosphère révélées par la Paléobiogéographie, c'est à elles que sera réservée la première place et la plus importante dans ce paragraphe.

1°) Les transgressions marines.

Avant de considérer les causes possibles des transgressions, il est peut-être bon de rappeler que, bien que pour une bonne part de même ordre, leurs conséquences géographiques ont eu elles-mêmes des effets bien différents sur les faunes et les flores selon qu'il s'agissait d'organismes marins ou d'organismes continentaux. En bref, et si l'on s'en refère à H. et G. TERMIER, ces effets sont : d'une part, une mise en relation de bassins océaniques et, dès lors, des possibilités d'esbolie de formes marines, de même que de prochorèse et d'allagie, et, d'autre part, des séparations de territoires, d'où des isolements de formes continentales ayant eux-mêmes pour effet des empêchements de prochorèse et d'allagie mais, en

revanche, des possibilités nouvelles de variation et de spécialisation (4). Pour ces dernières, il est vrai, avec, en contrepartie, une plus grande précarité de persistance des formes intéressées en cas de modification nouvelle des conditions, car les avantages et les inconvénients pour les êtres vivants mis en présence de telles modifications sont aussi fonction de l'efficience de leur adaptation, en sorte qu'une forme donnée peut être passée, sans avoir changé elle-même, d'un état d'adaptation (d'ailleurs précédé éventuellement de préadaptation) à un état d'inadaptation secondaire, laquelle, si l'espèce n'a pu trouver asile ailleurs, peut être à l'origine de son déclin, voire de son extinction.

Bien que les régressions soient, au point de vue géographique, d'un effet évidemment inverse de celui des transgressions et que, de ce fait, elles portent, en gros, inversement aussi sur les groupes marins ou non marins, elles n'amènent pas un retour des faunes et des flores à leur état antérieur à la transgression, une partie des conséquences étant irréversible. En fait, elles apportent de nouvelles possibilités d'expansion et de migration, cette fois pour les formes continentales; d'autre part, des isolements et leurs conséquences, pour des formes marines. Cela se complique d'ailleurs du fait qu'il n'y a pas que des immersions (ou émersions), changeant du tout au tout les conditions de vie, mais aussi des passages de conditions continentales à des conditions saumâtres ou de saumâtres à marines, etc..., ou vice-versa, avec des modifications seulement de salinité.

De plus en plus, la biogéographie nous révèle des cas de disjonctions d'aires s'expliquant par les données relatives aux transgressions et régressions.

Historique des théories et remarques.

Si l'idée de déplacement des rivages marins s'est, dès l'Antiquité, imposée à quelques observateurs par l'existence de fossiles d'origine marine dans des aires actuellement continentales, la recherche des explications à en donner n'a débuté que relativement tard, pour ne se développer qu'au siècle présent.

La première grande théorie sur la question est celle de E. Suess (1897) qui croyait à des oscillations propres du niveau des mers (« mouvements eustatiques »), encore qu'il fît appel à des effondrements créant un appel des eaux, ou bien à des bouleversements sous-marins (éruptions volcaniques, accumulations de sédiments) pour expliquer l'élévation des eaux.

E. Haug (1900) fait, pour sa part, appel aux mouvements de l'écorce terrestre, écartant le facteur « mouvements propres de la nappe océanique ».

(4) Nous verrons plus loin qu'il y aurait vraisemblablement, à certains moments, un effet d'appoint : un accroissement subit du taux de mutation dont on peut soupçonner un effet génétique de l'irradiation en U.V., de la radio-activité atmosphérique, etc., d'en être responsable.

C'est encore à une autre façon de voir que s'arrête E. LE DANOIS (1950) lorsqu'il exclut le facteur « mouvements propres des terres » (5), pour assimiler purement et simplement les transgressions marines du passé (« transgressions géologiques ») aux ruptures d'équilibre des nappes marines observables et mesurables de nos jours (quoique certainement plus faibles), c'est-à-dire aux « marées internes » ou « profondes » de O. PETTERSSON que, pour sa part, il appelle « transgression océaniques ». Toutefois, c'est quand même à des mouvements de l'écorce, mais sous-marins, que LE DANOIS fait appel pour expliquer ces marées profondes.

Envisageant un concours des deux groupes de phénomènes, H. et G. TERMIER (1959) considèrent toutefois comme facteur essentiel une invasion, par les eaux d'une transgression océanique, d'aires continentales préalablement abaissées par l'érosion.

Au nombre des autres phénomènes supposés être facteurs de transgression, il y aurait les modifications des mouvements astronomiques de la Terre et les migrations polaires, ces dernières étant même regardées par WEGENER (1937, p. 117) comme constituant probablement la cause principale des transgressions.

D'autres théories sont fondées sur les phénomènes glacio-eustatiques auxquels elles accordent la prépondérance, voire toute la responsabilité, dans le déterminisme des transgressions. Deux thèses sont en présence et, si elles se basent toutes deux sur un accroissement thermique (6) à l'origine des modifications dans le développement des glaces, elles reconnaissent respectivement à cet accroissement une cause bien différente.

La théorie actuellement la plus en vogue est celle qui attribue cet accroissement thermique aux variations de l'activité solaire et il est un fait que les statistiques établies d'après des observations récentes sont bien faites pour en faire admettre la réalité.

Une toute autre théorie encore, et toute récente celle-ci, consiste à regarder les transgressions et régressions marines comme « commandées par l'équilibre en gaz carbonique atmosphère-océan » (MATHIEU, G., 1959). Cet auteur ne considère que les changements de niveau des mers et les attribue aux variations glacio-eustatiques, empruntant, selon lui, leur énergie aux effets thermiques des fluctuations de la teneur en CO_2 de l'atmosphère. Excluant, implicitement, les hypothèses précédentes et toute participation de mouvements lithosphériques, auxquels il ne fait d'ailleurs pas la moindre allusion, l'auteur de cette nouvelle théorie ne la propose pas comme hypothèse mais bien en tant que « loi » (7).

Quels que puissent être les mérites de cette explication des transgressions, elle devra être prise en considération dans les paragraphes qui suivront mais il importe, en premier lieu, de voir celles qui se fondent

(5) LE DANOIS, E., 1950, p. 39.
(6) Voir p. 18.
(7) MATHIEU, G., 1959, p. 134.

sur les relations de niveau hydrosphère-lithosphère et, successivement, les mouvements propres du sol et ceux des masses continentales, encore que le caractère « propre » à l'un ou l'autre soit tout à fait relatif : les causes des mouvements océaniques pouvant être absolument solidaires de celles qui commandent les mouvements des masses continentales, la recherche de ces causes ne constitue en fait qu'un seul et même problème.

Mouvements océaniques et continentaux.

Il est peu vraisemblable que les abaissements d'aires continentales tels qu'en exigeraient de grandes transgressions puissent avoir pour seule cause l'érosion. Trop de faits, d'autre part, existent, comme les pendages sur de grandes distances, des marques d'effondrements et, suivant des observations récentes, des changements du niveau de couches géologiques, minimes certes mais révélatrices quand même d'un certain mobilisme, pour douter encore de l'existence de mouvements propres du sol, notamment radiaux. L'isostasie, généralement acceptée aujourd'hui, postule d'ailleurs la réalité de tels mouvements.

Les plus importantes de ces manifestations doivent être précisément liées à de larges troubles isostatiques eux-mêmes attribuables à des variations de la pression magmatique, suivant la relation énoncée par A. DAUVILLIER (8).

L'amplitude de certaines transgressions du passé (transgressions « géologiques » pour LE DANOIS) suggère néanmoins le concours d'une élévation, et même d'une élévation relativement importante et cette fois absolue des eaux océaniques elles-mêmes.

Comme exemple de transgression importante et de durée exceptionnelle, on peut citer la transgression cénomano-turonienne et, en particulier, ses conséquences en ce qui intéresse la géographie de la partie septentrionale de l'Afrique. R. FURON a déjà noté que l'invasion de celle-ci a débuté dès l'Albien (9). J'ai eu personnellement l'occasion tout récemment (10) de faire connaître des formes ichthyologiques marines du Crétacé inférieur du Nord de la Cuvette congolaise, et, parmi elles, certaines montrent que, dès cette période — et il devait déjà en être ainsi au Jurassique supérieur (11) — la mer atteignait une région très avancée vers le centre du continent africain. D'autre part, si la mer épicontinentale qui, au Crétacé, traversait le Sahara n'a pas été profonde, elle suppose néanmoins une élévation relativement importante des eaux

(8) DAUVILLIER, A., 1958, p. 232.
(9) FURON, R., 1941, p. 366.
(10) CASIER E., 1961, p. 85.
(11) Episode marin au cours du dépôt des formations de « l'Etage de Stanleyville » (SAINT-SEINE, (de), P. et CASIER E., mémoire en cours de publication *in* : Annales du Musée royal de l'Afrique centrale, à Tervueren). C'est notamment la présence de *Mawsonia* dans le Crétacé inférieur de la Cuvette congolaise qui m'incite à croire à une relation maritime avec la liaison Atlantique sud - Paléoméditerranée, plutôt qu'à une incursion des eaux de l'ancien océan Indien comme cela a été supposé dans le cas du Jurassique de Songa (L. CAHEN).

par rapport aux terres et il paraît bien difficile de faire appel au seul abaissement de celles-ci pour expliquer la chose. Nous aurons à revenir d'ailleurs sur cette question un peu plus loin.

L'examen des raisons qu'il y aurait ou non d'admettre, au besoin en l'amendant, la thèse de LE DANOIS de l'assimilation pure et simple des transgressions « géologiques » aux transgressions « océaniques » nécessite d'ailleurs, au préalable, un historique spécial de ce qui a été dit de ces dernières.

C'est à partir de 1922 qu'apparaissent des tentatives de rapprochement de ces mouvements océaniques avec d'autres phénomènes, relevant, eux, de la gravitation.

O. PETTERSSON (12), qui appelle ces mouvements « marées internes » ou « profondes », envisage une corrélation de celles-ci avec les « périodes lunaires ». D'autre part, pour le même auteur, les variations concomitantes dans la position des taches solaires résulteraient d'un « ébranlement des centres d'activité du Soleil » par l'effet de ces mêmes périodes.

De son côté, LJUNGMANN (13) ne fait de rapprochement des transgressions océaniques qu'avec la périodicité des taches solaires, tandis que LALLEMAND et PRÉVOT notent une relation apparente des « marées internes » avec l'ensemble de phénomènes constitué par les périodes lunaires et les variations du magnétisme terrestre (14).

Dans son ouvrage de 1938 sur l'histoire de l'Océan Atlantique, LE DANOIS, se fondant sur ses propres observations et s'appuyant d'autre part sur celles des auteurs précités, pose en principe une relation entre la périodicité des « marées internes » de PETTERSSON et des phénomènes cosmiques. Ce seraient des « marées sous-marines » parallactiques de très grande amplitude, se répétant suivant les périodes lunaires (15). Relation aussi, pour LE DANOIS, avec la variation périodique du magnétisme terrestre et des déplacements en latitude des taches solaires. Cet auteur associe ainsi dans un ensemble de causes concurrentes des phénomènes invoqués déjà par les auteurs précités, et de conclure : « ...les phénomènes transgressifs ne reconnaissent pas pour cause unique la révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire mais aussi la variation périodique du magnétisme terrestre et du déplacement en latitude des taches solaires » (16). Seulement, il n'explique pas le lien de causalité pouvant dès lors exister entre ces phénomènes, tandis que PETTERSSON croyait

(12) PETTERSSON, O., *fide* LE DANOIS, 1938.
(13) LJUNGMANN, *fide* E. LE DANOIS, 1938.
(14) LALLEMAND C. et PRÉVOT E., 1929, p. 1347 : « révolution de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire, variations périodiques du magnétisme terrestre et révolutions du périgée de l'orbite lunaire, ainsi que leurs harmoniques respectives ».
(15) E. LE DANOIS (1938, p. 162) d'après PETTERSSON : « coïncidence des époques des périodes synodiques et onomalistiques du temps du périphélium de la Terre avec une déclinaison maxima de la Lune ».
(16) Plus loin (1938, p. 174), le même auteur s'exprime comme suit : « Tous ces faits montrent que le rythme des transgressions océaniques est en correspondance directe avec les forces générales de grande amplitude qui régissent les phénomènes cosmiques ».

du moins à la relation entre périodes lunaires et ébranlement des centres d'activité solaire dans un sens qui permettrait éventuellement d'écarter les phénomènes solaires du nombre des facteurs intervenant directement dans le déterminisme des transgressions pour ne les considérer que comme phénomènes collatéraux.

C'est à des considérations analogues à celles de 1938 que se livre LE DANOIS dans son ouvrage plus récent sur le « *Rythme des climats* » (1950), ouvrage où il exprime sa croyance en une appartenance des transgressions du passé (transgressions « géologiques ») (17), au même type de phénomènes que les transgressions « océaniques ». En ce qui concerne les causes, nous y retrouvons l'appel aux mêmes phénomènes cosmiques, mais, cette fois, une hypothèse ingénieuse se fait jour pour expliquer le mécanisme des transgressions « océaniques » et, en même temps, le fait qu'elles s'accompagnent d'un réchauffement. Pour cela, LE DANOIS (1950, p. 40) attribue ces transgressions à des « marées du sima » qui produiraient une courbure temporaire de fonds océaniques par flexion des parties amincies de ces fonds, courbure engendrant à son tour un déplacement d'eaux considérable et une invasion par celles-ci des parties basses de continents. Le réchauffement qu'elles apportent, et ceci n'est pas sans importance au point de vue des conséquences biologiques de ces transgressions, serait dû, de son côté, au fait que de tels phénomènes se manifesteraient de façon prépondérante dans des régions océaniques intertropicales avec, par conséquent, un déplacement d'eaux de température relativement élevée (18).

Dès 1938, d'ailleurs, la périodicité des variations climatiques du passé, établie auparavant par MILANKOVITCH, et la relation déjà connue entre celles-ci et les transgressions avaient conduit E. LE DANOIS à imputer ces variations à des transgressions océaniques « dont nos transgressions actuelles sont un pâle reflet et ayant une amplitude et une durée énormes » (19), ce qui impliquerait, il va de soi, une attribution des transgressions géologiques aux mêmes causes.

Il semble pourtant que LE DANOIS ait entrevu plus tard la difficulté d'attribuer des transgressions aussi importantes à la seule attraction luni-solaire car il envisage cette fois (1950) « une attraction puissante émanant soit du système solaire, soit d'un astre perturbateur étranger à ce système », mais remarquons qu'il s'agit tout de même, dans son esprit, d'une force d'attraction.

Bien qu'il faille réserver une partie de la responsabilité dans le développement des transgressions géologiques à des déplacement radiaux d'aires continentales, il y aurait effectivement à considérer aussi des mouvements d'eaux océaniques, et cela indépendamment d'une montée

(17) LE DANOIS E., 1950, p. 40 : « ... transgressions marines et transgressions géologiques appartiennent à la même catégorie de phénomènes et sont avant tout des marées périodiques ».

(18) Voir p. 14.

(19) LE DANOIS E., 1938, p. 173.

des eaux par suite de la fonte des glaces; H. et G. TERMIER attribuent en effet à de tels mouvements océaniques une réelle importance dans le déterminisme des transgressions du passé (20). On peut même penser, avec ces auteurs, qu'un relèvement relativement minime du niveau des océans suffirait à entraîner une certaine incursion des eaux sur des aires continentales basses, encore que ceci ne puisse apparemment se présenter que localement. Pour les grandes transgressions, d'une extension bien plus vaste, il faudrait croire, soit à une importante élévation générale du niveau des océans (21), soit à un fort abaissement des terres intéressées et cela, non seulement par érosion, mais aussi par mouvement du sol lui-même. Dans certains cas, il faudrait même penser à un concours des deux.

Qu'une transgression océanique ne puisse être invoquée seule, on en trouverait peut-être une indication dans une remarque même de LE DANOIS (22) suivant laquelle ce type de transgression ne produirait aucun changement de niveau dans les régions équatoriales, ce qui ne s'accorderait pas avec les marques, certaines, de transgressions dans des régions comme le Congo et l'Angola (23). Mais, pour en tirer conclusion, il faudrait non seulement vérifier l'hypothèse de LE DANOIS, mais encore prouver que l'équateur n'a pas eu à ces moments de transgression une autre position que celle que nous lui connaissons aujourd'hui (24).

Essai d'explication du concours apparent de deux composantes, océanique et continentale.

Voyons à présent comment pourraient s'expliquer, d'une part, l'origine des mouvements propres des eaux océaniques et, d'autre part, la coïncidence de ces mouvements avec ceux de parties antérieurement émergées de la croûte terrestre, coïncidence que suppose une grande transgression et qui ne serait peut-être pas fortuite.

Ceci nous amène à reconsidérer les phénomènes astronomiques et géophysiques mis en cause dans les explications que les auteurs donnent des transgressions océaniques et, tout d'abord, l'effet de l'attraction luni-solaire, ou plutôt de ses variations, en laissant provisoirement sur le côté, comme sans influence déterminante bien que concomitants, les autres phénomènes invoqués.

(20) TERMIER H. et TERMIER G., 1959, p. 52.

(21) Cela serait à rapprocher de l'explication générale de WEGENER basée sur le fait que le volume total des eaux serait un peu supérieur à la capacité des bassins océaniques (s'il n'y avait lieu d'ajouter : comment peut-on parler d'une capacité des bassins alors qu'ils sont essentiellement variables et qu'une moyenne de capacité est pratiquement impossible à mesurer ?).

(22) LE DANOIS E., 1938, p. 157 : « dans les régions équatoriales, le niveau (de l'océan) doit rester sensiblement constant ».

(23) Transgressions limitées en étendue, il est vrai, mais en raison de la présence des Monts de Cristal. Il y aurait d'ailleurs d'autres exemples à donner.

(24) Voir p. 33-34.

En dépit de l'affirmation de LE DANOIS selon laquelle les effets d'une transgression océanique seraient d'autant plus grands et prolongés que la période est de raison plus élevée, on ne voit pas très bien comment cette attraction, qui n'opère tout de même que durant un laps de temps assez court (25), surtout si on la considère à l'échelle des temps géologiques, pourrait être à elle seule responsable d'une transgression géologique à effets de longue durée (longue durée de progression des eaux et permanence prolongée de l'immersion) comme celles auxquelles il a déjà été fait appel en tant qu'exemples. On ne pourrait guère admettre que ce facteur soit d'une certaine importance que dans la mesure où il serait capable d'amorcer en quelque sorte le phénomène transgressif par la rupture d'obstacles à la progression de ce dernier.

L'affirmation par O. PETTERSSON d'un effet des périodes lunaires sur les phénomènes solaires (« ébranlement des centres d'activité du Soleil » par ces périodes) permet certes d'envisager les choses sous un angle un peu différent. Comme il n'y aurait pas simple relation de simultanéité entre les périodes lunaires et les phénomènes solaires en question, mais également relation de causalité, on pourrait concevoir que l'effet serait double : une action directe par attraction lunaire, et une autre, indirecte, par le déclenchement de troubles solaires pouvant avoir pour conséquence un « ébranlement aussi des centres d'activité de la Terre » (PETTERSSON). Seulement, cette affirmation de PETTERSSON est déjà elle-même très douteuse (26). De plus, en supposant même que ces troubles solaires puissent être à ce point influents qu'ils entraîneraient l'enchaînement des phénomènes géophysiques mis en cause dans une théorie explicative exposée plus loin, il est encore assez difficile de croire à une action telle qu'elle puisse rendre compte de transgressions de l'ordre de celles invoquées plus haut. En d'autres termes, si l'on ne considère que les phénomènes mis en cause par O. PETTERSSON, E. LE DANOIS et d'autres, les transgressions océaniques ne pourraient se concevoir comme ayant pu avoir parfois l'amplitude et la durée que supposent les grandes transgressions du passé.

Remarquons d'ailleurs que, si la périodicité de ces dernières a été reconnue par MILANKOVITCH, il n'est pas établi, mais seulement supposé, que ces transgressions obéiraient à un rythme solidaire de celui des transgressions « océaniques » observées et, d'ailleurs, les observations de cet auteur n'ont porté que sur une période très limitée, en fait les derniers temps. Nous verrons d'ailleurs, à la fin de cette note, qu'une explication tentée par LE DANOIS des moments de troubles solaires serait de nature, si elle se vérifiait, à rendre cette périodicité douteuse, en

(25) D'ailleurs, si l'on admet, avec H. et G. TERMIER, qu'il s'agit alors d'une amplification considérable de l'onde semi-diurne, il ne peut être question que de déplacements d'eaux et non d'une élévation du niveau des océans à l'échelle planétaire.

(26) Bien entendu, il ne s'agit pas ici de mettre en doute la dualité de l'attraction (luni-solaire) dans les « périodes lunaires, » mais seulement la relation entre les phénomènes solaires et ces périodes.

dehors d'un retour des mêmes phases tous les deux cents millions d'années. A cela il faut ajouter que le maximum d'amplitude des transgressions correspondrait à la coïncidence périhélium-nœud apside et se présenterait ainsi tous les 1850 ans, or, s'il a parfois été cause de catastrophes, ce maximum ne correspond ni dans ses effets ni dans sa durée, loin s'en faut, à une transgression géologique.

Une autre hypothèse alors consisterait à attribuer les transgressions géologiques non plus à des variations de l'attraction luni-solaire, ni à des variations mineures de l'activité solaire (en relation avec celles-ci ?), mais à des accroissements périodiques importants de cette activité et qui seraient cette fois indépendants des périodes « lunaires ».

Les causes respectives des deux composantes d'une transgression géologique peuvent, en effet, être trouvées dans le groupe de phénomènes internes — perturbations des courants de convection et variations de la poussée magmatique qui en résultent — déjà envisagés plus haut à propos des mouvements propres des aires continentales.

La relation de cause à effet entre les variations de pression magmatique et troubles isostatiques, d'une part, la possibilité d'une relation aussi entre l'ensemble de ces phénomènes et les séismes, d'autre part, permettent de croire que tout cela pourrait bien être la conséquence d'une série d'autres phénomènes dont l'origine plus lointaine serait à rechercher dans les fluctuations de l'activité solaire. En effet, ayant constaté une coïncidence parfaite des séries de séismes, au Chili, avec des périodes d'activité solaire plus intense, V. MIRONOVITCH pense pouvoir en trouvers la cause dans une série d'effets en chaîne (27) : une intensification de l'activité solaire entraînant, comme on sait, le développement de phénomènes électromagnétiques dans l'ionosphère, ces phénomènes seraient à leur tour capables de provoquer la formation d'amas d'air, lesquels agiraient sur la rotation de la Terre pour la freiner. C'est, en dernière analyse, ce freinage de la rotation du globe qui serait la cause de phénomènes internes dont une des manifestations serait une augmentation de la fréquence des séismes.

Si l'on considère deux à deux les phénomènes invoqués, cette théorie explicative de la périodicité des séismes semble bien étayée par des faits observés par des astrophysiciens :

P. BERNARD donne comme absolument certaine la relation entre phénomènes solaires, géomagnétisme et ionosphère (28).

A une activité solaire exceptionnelle correspondent des fluctuations de la rotation du globe (A. DANJON), variations avec lesquelles seraient, d'autre part, en relation des modifications de la circulation atmosphéri-

(27) Voir notamment article de A. DUCROCQ, dans « Science et Vie », n° 542, p. 54 (nov. 1962).

(28) BERNARD, P., 1945, p. 81. Il y a notamment ionisation intense lors des orages magnétiques (DAUVILLIER, 1960, p. 28).

que (29). Un rapprochement peut être fait, à ce propos, avec les variations énergétiques (hystérésie) en rapport avec le magnétisme.

Un fait qui paraît aussi établi, c'est la relation des variations diurnes du champ magnétique terrestre, ainsi que des variations undécennales, avec le cycle de l'activité solaire (30).

Que ce soient les masses atmosphériques qui freineraient la rotation de la Terre et non l'inverse, on peut le croire si l'on s'en refère à l'avis de P. MELCHIOR (31) selon qui ce serait, pour la plus grande part, aux vents que seraient dues les fluctuations annuelles de cette rotation (32).

Lorsque P. BERNARD écrit (1945, p. 89) que « les perturbations atmosphériques sont réellement cause des oscillations du sol », il exprime une relation qui, en réalité, serait indirecte, c'est-à-dire par l'intermédiaire de variations de la rotation et de variations de pression magmatique. Les variations de la pression magmatique pourraient elles-mêmes résulter de perturbations dans les mouvements de convection dont on sait qu'ils seraient causés et entretenus par des différences de température existant à grande profondeur et dont on n'ignore pas l'importance qu'ils auraient dans le déterminisme du volcanisme et de la tectogenèse.

L'explication ainsi donnée du déclenchement d'importantes manifestations séismiques pourrait parfaitement s'appliquer à celui des grands mouvements, de même origine, de l'écorce terrestre et, dès lors, aux grands mouvements lithosphériques responsables, en partie au moins, des transgressions. L'existence, possible, d'un couplage entre l'électromagnétisme atmosphérique et celui de la Telle elle-même permettrait toutefois de croire à un effet plus direct sur le comportement des courants de convection.

L'intervention de deux composantes n'empêche pas d'admettre une similitude des phénomènes à leur origine, la première composante, océonique, pouvant reconnaître indirectement la même cause que la seconde, continentale. Quant au sens inverse de ces composantes — soulèvement de fonds océaniques et abaissement d'aires continentales, ou vice-versa dans le cas des régressions — il s'expliquerait à la fois par les sens,

(29) VAN MIEGHEM & al., 1959, p. 71. Ces auteurs notent toutefois qu'il n'existe pas d'observation d'un effet des variations aléatoires sur la circulation atmosphérique générale, mais on peut croire qu'il n'en est ainsi que parce que les perturbations observées sont de durée trop courte et de trop faible amplitude pour influencer autre chose que les couches atmosphériques les plus élevées (l'amortissement restant suffisant dans ce cas pour empêcher la propagation vers le sol) et qu'il en serait tout autrement dans le cas d'importantes perturbations électromagnétiques. Ces effets atmosphériques joueraient en outre un rôle direct dans les modifications biologiques, ce qui fera l'objet de remarques ultérieures.

(30) BERNARD P., 1945, p. 86. Toutefois, si des observations pareilles ont été faites, elles sont parfois de sens contraire. Mais, peut-être en est-il ainsi parce qu'elles ne consistent qu'en observations locales, sans signification quant au sens global des variations.

(31) MELCHIOR P., 1959, p. 91.

(32) Il y aurait aussi freinage par les marées mais de façon permanente et sans qu'il soit possible de rendre celles-ci indirectement responsables des phénomènes internes d'importance particulière.

ascendant ou descendant, des mouvements de convection du magma (33), combiné avec le jeu de l'isostasie s'appliquant à des masses différentes (minceur beaucoup plus grande de la croûte sous les océans que dans les régions continentales (34)) et, en tout, et à moins de croire à la nouvelle hypothèse de l'expansion terrestre, par la nécessité d'une permanence du volume totale des éléments sous-crustaux.

Ce qui aura incité E. Le Danois à croire à une identité — sauf ordre de grandeur — des transgressions « géologiques » avec les transgressions « océaniques », ce serait d'abord l'analogie en ce qui concerne l'apport d'eaux de température élevée, ce qui peut s'expliquer par le fait que, dans les deux cas, mais par suite d'actions différentes, il y aurait soulèvement de fonds marins; ce serait ensuite l'apparence d'une appartenance des périodes de transgressions géologiques et de celles des transgressions océaniques à un même rythme, alors qu'il pourrait bien s'agir de simple interférence de deux rythmes indépendants, si tant est même que les premières obéissent à un rythme.

Le rapprochement entre les deux types de transgressions ne serait cependant pas absolument dénué de fondement puisque, nous venons de le voir, dans les deux cas il y aurait soulèvement de fonds marins, mais, alors que dans le cas des transgressions océaniques, le relèvement de fonds serait imposé par des variations de l'attraction luni-solaire, dans celui des mouvements océaniques, beaucoup plus importants, qui concourent à déterminer une transgression géologique, ce seraient des variations de la pression magmatique entraînées par des fluctuations de l'activité solaire, qui agiraient de même pour exercer une flexion des parties amincies des fonds océaniques.

Les facteurs des transgressions « océaniques » elles-mêmes doivent pouvoir comporter, quoique de façon très faible, la série des phénomènes géophysiques découlant des troubles atmosphériques, car les variations de l'attraction luni-solaire ont également une influence sur l'atmosphère. La dualité des causes de soulèvement de fonds rendrait mieux compte d'ailleurs du fait que les transgressions « océaniques » peuvent tout de même présenter une certaine durée. Ceci serait à rapprocher de la coïncidence observée actuellement, entre les marées terrestres et les variations de la vitesse de rotation, car, dans ce cas aussi, c'est au freinage par des masses atmosphériques que seraient dues ces variations de vitesse.

Des variations polaires ont sans doute accompagné les transgressions, les conséquences atmosphériques, lithosphériques et hydrosphériques étant susceptibles d'engendrer des variations d'équilibre, d'où des troubles de la rotation du globe s'ajoutant à ceux intéressant la vitesse de celle-ci.

(33) Mouvements ascendants déterminant notamment les volcans dans les régions des îles; mouvements descendants entraînant des enfoncements de l'écorce (Cf. Sanders, P., 1955).

(34) Points de moindre résistance de l'écorce à la pression magmatique, surtout en certains points (cas, tout spécialement, du « rift » de la chaîne médio-atlantique ?).

Par l'importance plus grande du facteur en jeu, l'hypothèse d'une suractivité solaire expliquerait mieux l'amplitude et la longue durée des transgressions telles que celle du Cénomanien. De plus, par un appel, dans les deux cas, au même concours de phénomènes, elle rendrait mieux compte de la simultanéité des deux groupes de mouvements, océaniques et lithosphériques. Enfin, elle rendrait parfaitement compréhensible l'élévation de la température générale du globe accompagnant ces transgressions, élévation de température entraînant un important élargissement des zones chaudes, alors que les transgressions océaniques ne peuvent guère apporter que des modifications climatiques faibles et géographiquement limitées (35).

L'élévation sensible et générale de la température entraînant à son tour une fonte des glaces, l'élévation des eaux océaniques s'en trouve accrue d'autant. Ceci n'est pas neuf en soi, mais, dans l'hypothèse qui vient d'être formulée, ce ne serait pas seulement le fait d'eaux de transgression, mais surtout un effet direct de l'accentuation de l'activité solaire. Inversement, une réduction de celle-ci serait responsable de glaciations accentuant la régression marine (36). Comme il en est, en plus réduit, dans le cas des variations saisonnières des transgressions océaniques.

La sédimentation prolongée qui peut s'observer à la périphérie des bassins de mers épicontinentales indique la possibilité sinon la constance d'une période étale de la transgression. Il faut en déduire que le début d'une régression ne doit pas nécessairement coïncider avec l'arrêt de la progression des eaux. Il ne faudrait cependant pas en inférer que tel aura été aussi le cas pour le cycle correspondant de l'activité solaire car on peut penser à l'existence, dans la phase négative de celle-ci, d'un seuil à partir duquel seulement se déclencherait le processus de régression.

En conclusion de ce qui précède, on pourrait donc voir dans une grande transgression « géologique », la somme de composantes résultant chacune d'une série de phénomènes ayant eux-mêmes pour cause commune un accroissement sensible de l'activité solaire. De même origine, ces phénomènes convergeraient ainsi vers une même action modificatrice de la géographie du globe : l'invasion d'aires continentales par les eaux océaniques, l'ensemble des composantes et de leurs causes directes respectives pouvant se résumer comme suit :

1°) une élévation du niveau propre des eaux océaniques par soulèvement de fonds marins résultant des variations de la pression magmatique se manifestant au niveau des couches du sima les moins contenues (plaines bathypélagiques);

2°) des modifications, en de nombreux points, du niveau de masses continentales basses par rupture de l'équilibre isostatique, ainsi que

(35) Voir toutefois p. 39 ce qui en sera dit à propos d'une autre origine possible de ce réchauffement.

(36) Cet effet direct de l'activité solaire est également à la base de la théorie glacio-eustatique qui sera considérée plus loin. Il y aura d'ailleurs lieu de tenir compte des causes de fusion ou de reformation des glaces invoquées dans l'explication que donne G. MATHIEU des transgressions (voir p. 18).

des phénomènes tectoniques subordonnés à ceux-ci (rajustements...), plus des modifications du relief par érosion et corrasion;

3°) une montée supplémentaire des eaux océaniques par suite de la fonte des glaces résultant d'une élévation générale de la température.

En somme, il y aurait un parallèle à faire entre deux groupes de modifications analogues des conditions, modifications intéressant, dans les deux cas, à la fois l'hydrosphère et la lithosphère, pouvant temporairement concourir, mais d'origine motrice, de durée et d'amplitude bien différentes :

1°) des modifications, d'importance variable mais cependant toujours mineures, non générales et de courte durée, du rapport de niveau océans-continents, dues à des marées marines ordinaires, de syzygie ou encore exceptionnelles, c'est-à-dire « transgressions océaniques ») commandées, comme d'ailleurs les marées terrestres, par les variations de l'attraction luni-solaire;

2°) des modifications, pouvant être importantes, étendues et durables du même rapport (transgressions et régressions « géologiques ») dues à la fois à des déplacements d'eaux océaniques de plus grande importance et de beaucoup plus longue période que celles des transgressions océaniques, et à des mouvements importants du sol, les unes et les autres attribuables, par le truchement d'une série en chaîne de phénomènes géophysiques, à des périodes d'intensification de l'activité solaire.

En dépit des différences importantes dans les mécanismes respectifs des transgressions « océaniques » et « géologiques » et l'impossibilité de leur reconnaître une appartenance à un même rythme, il y aurait donc des analogies et, d'ailleurs, on ne pourrait les dissocier absolument au point de vue chronologique. En effet, les transgressions océaniques ne seraient pas les seuls effets de cette catégorie à se présenter actuellement. Il faut considérer que des fluctuations de l'activité solaire agissent bien aujourd'hui sur la lithosphère et, par voie de conséquence, sur l'hydrosphère, car on sait de façon certaine qu'une relation existe entre les grandes éruptions solaires et des perturbations des marées terrestres.

Inversement, les transgressions « océaniques », attribuables aux périodes lunaires, ont évidemment dû se produire aussi bien au cours des temps géologiques et il est bien sûr qu'elles ont dû jouer un rôle non négligeable dans les transgressions « géologiques », mais par une action temporaire (avec parfois des effets durables) et en quelque sorte préparatoire : l'intensification de l'érosion marine. Il a dû en être ainsi lorsque des tempêtes coïncidaient avec ces marées exceptionnelles pour provoquer des irruptions sur des zones continentales préalablement effondrées ou particulièrement érodées, ou même sur des territoires suffisamment bas pour n'offrir qu'une faible résistance à l'immersion. Il est même permis de croire que de simples marées de syzygie ont pu jouer un tel rôle.

Dans le même ordre d'idées, il n'est pas non plus interdit de croire que les marées terrestres seraient capables non seulement de produire les tensions élastiques de l'écorce mais aussi d'amorcer en quelque sorte le processus d'accroissement local de la pression magmatique. Il y a, d'autre part, interférence des marées terrestres avec les marées marines (MELCHIOR, 1955, p. 253), mais ce serait pour en réduire l'amplitude.

Pour les grandes transgressions, intéressant toute la planète, on peut penser que le maximum de facteurs a joué, mais cependant avec des fortunes diverses suivant les bassins considérés. De même que H. et G. TERMIER ont défini le degré d'importance d'une transgression, dans un bassin donné, comme étant le bilan des avancées et reculs des eaux, car il y a des oscillations mineures, de même on pourrait dire que l'importance d'une transgression, considérée cette fois du point de vue spatial, est fonction de la somme des effets locaux, effets plus ou moins importants selon les points, en raison même de l'inégalité des parts prises respectivement par les divers facteurs en jeu (37).

A l'opposé des grandes transgressions de caractère mondial, les transgressions régionales (38), qui rendent parfois si malaisée la recherche des limites de cycles sédimentaires et celle de leurs raccordements au contexte stratigraphique (même de bassins peu éloignés), pourraient sans doute s'expliquer par un même mécanisme, mais à effets limités, plutôt que par une impulsion par accroissement de la moyenne annuelle de la température, comme le croyait UMBGROVE, l'accroissement de température ne devant être en cela qu'un des effets de l'augmentation de l'activité solaire et les transgressions un autre (autrement dit : simultanéité de deux effets d'une seule et même cause et non pas subordination de l'un de ces effets à l'autre).

Dans certains cas, cependant, elles pourraient aussi bien résulter uniquement d'effondrements non accompagnés d'élévation absolue des eaux océaniques et dus à de simples rajustements tectoniques en période épeirogénique. Ceux-ci pouvant être indépendants de l'enchaînement de phénomènes géophysiques considérés plus haut, la dysharmonie entre les transgressions locales et la série des transgressions proprement dites n'aurait rien que de très naturel. De telles transgressions ont, à l'échelon local il va sans dire (39), des conséquences écologiques de même nature que celles qu'on reçonnaît aux transgressions marines en général, mais, pouvant être sans rapport avec des fluctuations de l'activité solaire, elles ne seraient pas non plus, sauf coïncidence fortuite, synchroniques des variations importantes du degré thermique moyen.

(37) Plus exactement : la part que ceux-ci *ont eu l'occasion de prendre*.

(38) Les transgressions de moindre étendue (circumpacifiques, arctiques; cf. TERMIER et TERMIER, 1952, pp. 61-62) ou même tout à fait locales.

(39) Après avoir défini les mouvements des terres comme résultant de la compression horizontale et d'étirements, A. WEGENER (1937, p. 176) émet même l'avis que les soulèvements ou abaissements de la surface externe du sial ne peuvent être que locaux (?).

Autres théories :

Comme nous l'avons vu plus haut, les théories récentes basées sur la glacio-eustasie comme facteur essentiel sont, d'une part, celle qui fait appel aux relations directes avec l'activité solaire (R. W. FAIRBRIDGE) et, d'autre part, celle toute récente de MATHIEU (1959), fondée sur les fluctuations de l'équilibre en CO_2 de l'atmosphère et de l'hydrosphère.

La faveur dont jouit aujourd'hui la première de ces théories se justifie certes par le fait qu'elle repose sur des constatations concrètes, à savoir : la concordance parfaite des modifications du niveau océanique avec des phénomènes solaires, les uns et les autres observés et ayant donné lieu à statistique.

Si le fait est certain en ce qui concerne la fusion des glaces et a d'ailleurs été dans une certaine mesure pris en considération dans la théorie proposée en premier lieu, si son importance dans le développement de transgressions récentes ne l'est pas moins, il est plus douteux qu'on puisse, même en faisant crédit aux vues de MILANKOVITCH (40), lui accorder la responsabilité exclusive dans le déterminisme des grandes transgressions du passé et il semble d'ailleurs qu'on ne soit pas unanime à rejeter l'intervention d'autres facteurs, intéressant, ceux-ci, la lithosphère. Ce qui ne s'expliquerait que dans l'hypothèse d'un concours des deux groupes de phénomènes, c'est la coïncidence des transgressions avec les grandes crises géodynamiques. Pour cela, c'est bien, semble-t-il, la première hypothèse envisagée, celle de l'influence de la même activité solaire sur le comportement de la lithosphère, qui serait seule à pouvoir rendre compte de cette coïncidence.

Quant à l'explication que G. MATHIEU (1959) donne du mécanisme des transgressions et régressions marines, elle est bien différente. A ce qui en a déjà été dit plus haut (p. 6) il convient d'ajouter, avant toute remarque, que les oscillations de la teneur atmosphérique en CO_2 y sont tenues pour conséquence des variations importantes de l'extension géographique, et dès lors quantitative, de la flore, le volcanisme y étant toutefois envisagé comme source d'un apport compensateur des pertes par « stockage ».

Le principe d'une intervention du CO_2 en tant que facteur d'élévation de la température, capable de produire une fusion des glaces, appelle une première remarque :

S'il y a effectivement un réchauffement actuel en coïncidence avec le grand dégagement de CO_2 dû à la combustion pour les besoins de l'Homme — ce que MATHIEU avance comme argument en faveur de son hypothèse d'un effet thermique, dans ce sens, du CO_2 —et s'il s'agit bien d'un réchauffement absolu (41), il n'est pas exclu que celui-ci soit une conséquence directe de variations solaires. C'est même le principe à la base de la théorie précédente.

(40) Beaucoup moins certaines en ce qui regarde la périodicité des transgressions anciennes.

(41) Il s'agit bien d'un réchauffement absolu et non pas relatif, suivant les régions: cela est indiqué par les observations sur le recul général des glaciers.

D'autre part, il n'est pas du tout certain que le « manchon » isothermique créé par le CO_2 puisse être une source d'accroissement thermique général et, à supposer qu'il en soit une, qu'il l'emporterait sur l'effet inverse — un refroidissement — attribué, suivant la thèse de ARRHENIUS, à l'écran formé par le même CO_2.

Certes, en faisant abstraction de l'effet de refroidissement, qui n'est pas aussi certain qu'on a voulu le croire (42), et en ne retenant que l'uniformisation des climats (43), on pourrait admettre qu'il se produit un réchauffement relatif des régions polaires suffisant pour entraîner une fusion des glaces, mais il resterait alors à expliquer le réchauffement général qui accompagne les transgressions (44).

Comme on le voit, la question reste assez discutable. D'autre part, une autre remarque s'impose qui concerne cette fois le rôle attribuable à la végétation dans les modifications de l'équilibre en CO_2 atmosphérique et océanique. Ce rôle n'est certes pas, en lui-même, contestable, mais il ne doit s'agir que de l'un des facteurs de modification de cet équilibre et, dans certains cas, on ne pourrait concevoir qu'il soit primordial. En admettant que soit réelle l'importance de l'intervention du CO_2 dans le déterminisme de ces phénomènes, c'est plutôt au volcanisme qu'il faudrait attribuer les causes de modification de l'équilibre en question. Or, si MATHIEU prend bien en considération le rôle du volcanisme dans l'apport en CO_2 à l'atmosphère (et secondairement à l'hydrosphère), il n'en envisage pas les variations qui ont cependant dû agir tout particulièrement en la matière, et qui auraient leur origine, nous l'avons vu, dans des phénomènes géophysiques eux-mêmes attribuables, selon toute vraisemblance, à des fluctuations de l'activité solaire.

Toutefois, cet auteur (1952, p. 134) a lui-même envisagé la nécessité de tenir compte d'autres facteurs de modifications de l'équilibre en CO_2 — manque d'activité solaire, poussières dans l'atmosphère — mais il accorde à l'intervention de la végétation la valeur d'un « freinage des variations excessives » pouvant résulter de ces phénomènes. Cette façon d'envisager les choses lui permet du moins de prévenir une remarque qu'autrement on serait tenté de faire, celle que l'explication ne pourrait être valable pour les plus anciennes transgressions antérieures à l'existence de toute grande végétation.

Si l'on considère les « poussières » auxquelles G. MATHIEU fait allusion, comme devant être d'origine volcanique, si l'on tient compte aussi

(42) La thèse de ARRHENIUS serait appuyée par l'observation de refroidissements attribuables à des poussières volcaniques, mais il convient de faire cette réserve que ce qui serait vrai pour des poussières ne l'est peut-être pas pour l'anhydride carbonique. D'autre part, un refroidissement réel et absolu, et non pas seulement modérateur d'un accroissement thermique, serait aussi en contradiction avec l'observation d'un réchauffement accompagnant les transgressions, et s'accorderait donc mal avec l'hypothèse d'une relation de synchronisme entre celles-ci et des phases actives du volcanisme.

(43) L'absorption importante de rayons calorifiques infrarouges par le CO2 aurait, croit-on, pour conséquence une uniformisation des climats et la disparition des saisons.

(44) L'universalité des grandes variations climatiques est appuyée par de nombreux arguments dont ceux fournis par l'étude des glaciations quaternaires et les observations sur certaines faunes fossiles.

de ce que W. J. JONGMANS (*in* G. MATHIEU, 1952, p. 449) a de son côté mis l'accent sur la probabilité d'une importante participation du volcanisme dans le comportement du taux de CO_2 atmosphérique, on arrive à attribuer à ce volcanisme, et dès lors aux grandes variations de son intensité, un rôle important en la matière.

On pourrait toutefois penser que la compensation que celui-ci apporte aux pertes subies par le fait du « stockage » ne s'est pas toujours produite en temps utile pour que soient réalisées les conditions requises par le cycle tel qu'il est imaginé par G. MATHIEU. En revanche, on peut envisager un raccordement possible à la thèse des autres facteurs géophysiques — thèse développée pp. 12 à 17 — puisque, dans celle-ci, les causes de la « composante lithosphérique » aussi bien d'ailleurs que celles de la « composante océanique » des transgressions géologiques seraient les mêmes que celles d'un accroissement de l'activité volcanique.

Vu la diversité des éléments en jeu et la variabilité de leurs interventions respectives, selon les cas, il n'est guère vraisemblable que le facteur thermique ait joué toujours dans le même sens que celui présupposé par le « cycle » tel qu'il est conçu par MATHIEU. On peut aussi penser que c'est parfois par la rétention de l'humidité qu'agirait l'enrichissement en CO_2 de l'atmosphère (45) et, alors, dans le sens de la régression, ce qui ne demanderait pas une intervention des phénomènes glacio-eustatiques ni, par conséquent, celle d'un changement thermique.

Les fluctuations du « stockage » (CO_3 Ca, CO_3 Mg fixé par certains organismes [DELECOURT], lignites, houille, hydrocarbures des schistes bitumineux, etc.) introduisent une autre cause de variation, non seulement par l'immobilisation d'un pourcentage appréciable de carbone, ce qui a déjà été envisagé plus haut, mais aussi par un effet direct en faveur soit de la transgression, soit de la régression, et cela par intervention en tant que générateur de troubles isostatiques, mais d'un caractère relativement limité géographiquement.

Toujours est-il qu'il est bien difficile de faire la part des interventions diverses et, dès lors, de concevoir la « loi » de G. MATHIEU comme résolvant à elle seule tout le problème des transgressions marines.

Les théories basées sur la glacio-eustasie ne peuvent d'ailleurs d'aucune façon exclure les mouvements lithosphériques et hydrosphériques d'une autre origine, en tant que facteurs des transgressions. Elles ne s'opposent d'ailleurs pas radicalement à l'hypothèse de la relation entre les fluctuations de l'activité solaire et les phénomènes géophysiques étendue aux causes des transgressions, mais seule celle fondée sur les phénomènes glacio-eustatiques attribuables à des variations solaires rend parfaitement compte, avec la théorie précédente, d'un synchronisme du réchauffement absolu et général avec les transgressions.

(45) Donné parfois comme explication du climat du Carbonifère.

Le plus vraisemblable serait un concours des phénomènes géophysiques intéressant la lithosphère à partir des troubles atmosphériques et leur incidence sur le magma, avec les phénomènes glacio-eustatiques, concours résultant d'un synchronisme dû lui-même au fait que l'ensemble découle d'une même source : les fluctuations de l'activité solaire.

S'il n'y a pas nécessairement intervention de ces deux séries de facteurs pour qu'il y ait transgression, ce serait néanmoins par leur concours parfait que seraient réalisées les conditions optimales pour une grande transgression. D'autre part, la périodicité des transgressions serait commandée bien plus par celle de l'activité solaire que par le cycle de MATHIEU, qui ne ferait qu'interférer avec les autres facteurs et pas nécessairement dans le même sens.

Etant donnée l'analogie des phénomènes mis en cause dans l'explication des mouvements lithosphériques avec ceux qui rendraient compte du volcanisme, il vient immédiatement à l'esprit que des périodes d'intense activité volcanique devraient avoir coïncidé avec des transgressions étendues. Cela semble tout au moins avoir été le cas de l'Eocène, période de grandes transgressions et climat chaud, au cours de laquelle le volcanisme s'est beaucoup manifesté (notamment en Ecosse). Même remarque pour le Cénomanien.

Avant d'en terminer avec ce qui concerne spécialement les facteurs de transgression, il importe de revenir sur la relation entre des variations de la rotation du globe et les transgressions. A. WEGENER, qui y croyait, voyait dans ce phénomène la source de déformations du globe ayant, à leur tour, une incidence sur l'équilibre des masses et notamment sur celui des eaux océaniques (46). Cela rappelle assez bien l'hypothèse des déformations (courbure) des fonds océaniques, inspirée de LE DANOIS, mais en diffère cependant par le développement plus grand de ces déformations suivant les vues de WEGENER inspirées d'ailleurs de celles de KELVIN (« globe déformable »). Et pourtant, WEGENER n'y attribuait pas autant d'importance, dans le déterminisme des transgressions, qu'aux migrations polaires dont il sera question plus loin (47).

Il faut aussi retenir le rôle, subsidiaire mais cependant assez important, joué non seulement par l'érosion marine, déjà invoquée, mais aussi par l'érosion continentale. Celle-ci fera d'ailleurs encore l'objet de remarques à propos des variations climatiques auxquelles elles sont évidemment liées (p. 39).

2°) Autres facteurs intéressant la paléogéographie.

Outre l'origine des transgressions marines, il convient de jeter un coup d'œil sur celle d'autres phénomènes physiques ayant dû jouer un rôle dans les modifications de biotopes : le volcanisme et les séismes, d'une part, les effondrements de « ponts » intercontinentaux (ou la dérive ?), d'autre part.

(46) WEGENER, A., 1937, p. 177.
(47) Voir p. 31.

Volcanisme et séismes.

Nous venons de voir le rôle additionnel que le volcanisme pourrait peut-être jouer dans le mécanisme des transgressions et régressions par la voie de modifications de l'équilibre en CO_2 atmosphère/océan. Indépendamment de cette intervention plus ou moins importante, mais indirecte, dans le déterminisme des transformations de la biosphère, il fait partie aussi des facteurs de modifications paléogéographiques plus directes, mais cette fois-ci, de façon peu importante. Il en est de même des séismes. Mais, du moins, ces causes supplémentaires de modifications seraient encore à mettre sur le compte de l'activité solaire, suivant la théorie, exposée plus haut, des relations entre de telles manifestations et des variations de cette activité. On ne peut toutefois faire absolument abstraction des effets, plus modestes, il est vrai, mais qui ont peut-être été beaucoup plus importants autrefois, de l'attraction luni-solaire, car c'est un fait que de tels phénomènes sont, dans une certaine mesure, liés à l'attraction de la Lune et une explication d'un important volcanisme lunaire, dans le passé, est précisément fondée sur l'idée d'une moindre distance Terre-Lune à ce moment, c'est-à-dire sur celle d'un même phénomène mais considéré en sens inverse.

Translation des continents ou ponts intercontinentaux ?

Bien que très contestée, surtout par des géologues (48), la théorie des translations continentales (WEGENER) est spécialement à prendre en considération ici, d'abord en raison de son éventuelle incidence (qui serait très grande) sur les transformations de la biosphère, ensuite parce que l'occasion se présente ainsi de verser au dossier de cette grande question quelques remarques relatives aux anciennes faunes ichthyologiques.

La première de ces remarques a trait à l'Atlantique nord. Ainsi que j'ai eu l'occasion de le rapporter il y a quelques années (49), M. LERICHE voyait dans l'analogie entre faunes ichthyologiques du Dévonien supérieur de l'Europe occidentale et de l'Amérique du Nord un argument de poids en faveur de cette théorie. Sa conclusion : « L'océan qui les sépare actuellement paraît devoir sa formation à l'écartement progressif des lèvres d'une cassure produite dans le bloc formé par les deux régions accolées, plutôt qu'à l'effondrement d'une énorme masse continentale intermédiaire » ne laisse place à aucun doute en ce qui concerne la conviction qu'il s'était faite.

(48) A remarquer que cette hypothèse de dérives (sinon toute la théorie de WEGENER) a bénéficié, dans ces derniers temps, d'un regain d'intérêt par suite de données nouvelles découlant des observations faites à l'occasion de l'Année géophysique internationale.

(49) CASIER, E., 1954, p. 619, note 76 (d'après une note manuscrite de M. LERICHE retrouvée après son décès).

Les autres remarques que je désire formuler ici concernent des faits déjà soulignés mais auxquels s'en ajouteront quelques-uns s'inspirant d'observations personnelles.

On sait que des rapprochements ont été faits entre faunes (Lamentins, Poissons) et flores (50) se retrouvant des deux côtés de l'Atlantique. Je voudrais insister un peu sur ce qui a été révélé, dans cet esprit, par l'étude de la faune ichthyologique éocrétacique du Bassin du Gabon, d'une part, et de celle de Bahia (Brésil), de l'autre. D'après l'étude de la première par W. WEILER (1923), pour la partie de ce bassin située en Guinée Espagnole, puis par C. ARAMBOURG et D. SCHNEEGANS (51) pour Coccobeach, au Gabon, quelques éléments indiquent une telle similitude et cette impression est aussi celle qui se dégage d'un examen auquel je viens de procéder d'un nouveau matériel ichthyologique en provenance du Bassin du Gabon (52). La constitution du genre *Diplomystus*, commun aux deux régions, suggère des mœurs planctiques et peu d'inclination aux grands déplacements. Pour l'ensemble des poissons, d'ailleurs, les adaptations analogues et le même type d'association engagent plutôt à croire à une proximité bien plus grande des deux régions entre elles au Crétacé inférieur.

Le Bassin du Gabon ne serait d'ailleurs pas le seul d'Afrique Equatoriale à présenter, par ses faunes ichthyologiques, des affinités avec le Brésil : il y a un Coelacanthidé, du genre *Mawsonia* trouvé d'abord au Brésil, puis en Egypte et, récemment, dans le Bassin du Congo (53). Sa répartition africano-brésilienne suggère aussi des relations anciennes entre les deux continents. Si certains caractères de ce poisson (marin et apparemment nectique) permettent de croire à des possibilités de passage d'un côté à l'autre de l'Atlantique sud, il y a cependant une troublante coïncidence avec les cas vus-ci-dessus et de nature à faire penser à une relation par des eaux néritiques en connexion entre elles (mais ce pouvait être par « pont »).

Les quelques affinités de faunes ichthyologiques méso- et cénozoïques entre l'Angola et le Congo, d'une part, et le Maroc, de l'autre, n'ont rien qui doivent surprendre car les échanges de formes marines ont pu se faire après ouverture — il ne doit plus y avoir eu de solution de continuité de l'Atlantique déjà au Crétacé supérieur — et l'on sait d'ailleurs qu'une relation maritime a existé alors, à travers le Sahara, entre l'Atlantique sud et la Paléoméditerranée. En revanche, la rupture

(50) Des études récentes sur les spores permiennes, d'une part du Congo (PIERART, 1959) et, d'autre part, du Brésil (DIJKSTRA) ont fait apparaître une similitude complète qui porte non seulement sur la composition de la flore mais sur l'ensemble des conditions de vie et de dépôt. Il faudra toutefois tenir compte de la remarque formulée plus loin à propos de la signification des glaces au point de vue de la réalité du « Gondwana »).

(51) ARAMBOURG, C. et SCHNEEGANS, D., 1935, p. 19

(52) Matériaux du Musée royal de l'Afrique centrale qui feront l'objet d'une publication prochaine.

(53) CASIER, E., 1961, pp. 35-36, 83, pl. II, et pl. III, fig. 1-2.

des relations intercontinentales aura rendu difficiles, voire impossibles, au début, les échanges avec les Antilles pour des formes essentiellement liées à la vie littorale comme c'est le cas pour les Sélaciens du groupe des Batoïdes, ce que j'ai d'ailleurs pensé pouvoir donner comme la meilleure explication de l'absence presque totale de ces poissons dans les faunes crétaciques et cénozoïques des Antilles (54).

Le cas des Dipneustes est un de ceux qui ont le plus contribué à accréditer l'hypothèse « de l'Inabrésie » et il serait donc important de connaître au juste l'histoire paléobiogéographique de ces choanichthyes. Je ne puis toutefois, dans le cadre limité de cette note, faire plus que d'y apporter quelques remarques.

L'interprétation donnée quant au cas de ces poissons repose sur l'hypothèse d'une disjonction de leur aire primitive de répartition géographique par la dissociation de cet ancien continent, les formes actuelles étant exclusivement dulcaquicoles.

On s'accorde à croire que la divergence des rameaux phylétiques des Cératodontidés, d'une part, des Lépidosirénidés, d'autre part, remonte au Dévonien, avec, comme souche commune, les Diptéridés (55), lesquels, ont eu une répartition géographique assez vaste, comprenant notamment l'Europe. *Ceratodus*, forme du premier grand rameau et qui a vécu du Trias au Crétacé supérieur, a eu toute cette durée d'existence en Afrique, mais il exista aussi dès le Trias en Europe. Or les restes du même genre *Ceratodus* ont été trouvés en association avec des formes marines (notamment, pour l'Afrique, dans le Crétacé supérieur d'Egypte et du Sahara, et dans le Crétacé inférieur du Congo (56), de même que dans des dépôts marins du Nord de Madagascar (57). L'examen des conditions de dépôt des restes fossiles des Diptéridés ancestraux laisse bien l'impression que le régime marin devait aussi y être représenté. On peut dès lors concevoir comme vraisemblable une expansion du genre *Ceratodus* par voie maritime (par des eaux littorales toutefois) et une possibilité pour une de ses formes de se réfugier ensuite dans les eaux douces, en Océanie, sans nécessité d'une relation continentale directe avec l'Afrique (58).

D'autre part, L. JOLEAUD, se basant sur le nombre des crêtes dentaires, regarde même les genres *Ceratodus* et *Neoceratodus* comme issus indépendamment du genre *Proceratodus* du Carbonifère des U. S. A., mais cela n'est pas bien sûr car certaines espèces de *Ceratodus*, notamment d'Afrique, présentent aussi un nombre assez élevé de crêtes.

(54) CASIER, E., 1958, p. 86. C'est du moins le cas des Myliobatidés, dont l'apparition est relativement tardive.

(55) D'après A. S. ROMER.

(56) CASIER, E., 1961, p. 40.

(57) LEHMAN & al., 1959, p. 41 (215).

(58) Un rapprochement peut en être fait avec le cas des Lépidostéidés passés de l'Afrique à l'Europe, puis à l'Amérique, et de la vie marine (apparemment du moins) à la vie dulcaquicole (voir CASIER, E., 1961, p. 83).

Pour l'autre branche, sa dissociation en deux rameaux secondaires, ayant respectivement comme représentant actuel *Protopterus* et *Lepidosiren*, se placerait au Jurassique.

Pour le genre *Protopterus*, il n'est pas impossible qu'il ait été encore estuarien, voire marin, au Miocène, car il s'est rencontré plusieurs fois dans le Burdigalien de Malembe (Enclave portugaise de Cabinda, Congo) et, chaque fois, dans un état qui ne permet guère de conclure ni à un remaniement ni à un transport important par des eaux fluviales (59).

De son côté, *Lepidosiren* n'est malheureusement pas connu à l'état fossile.

De ce qui précède, il résulte que l'argument tiré d'une répartition « gondwanienne » des Dipneustes perdrait quelque peu de sa valeur.

La répartition des Ostéoglossidés fossiles et récents est peut-être plus significative à ce point de vue (les formes dulcaquicoles du moins, car le genre *Brychaetus* de l'Eocène, qui devait être marin, s'est comporté tout autrement, encore qu'il soit d'origine africaine, d'après les connaissances actuelles).

Un autre cas, enfin, est celui des Eusélaciens archaïques (Hybodontes et formes dérivées, y compris les Ptychodontes), ainsi que des Squatiniformes et Squaliformes (60). Cette fois, il ne s'agit plus d'un rapprochement paléobiogéographique entre l'Afrique et l'Amérique du Sud mais bien d'une différence entre l'Atlantique nord et l'Atlantique sud. Dans ce dernier ont fait défaut la presque totalité des genres constituant ces groupes. Si l'on ne peut en déduire qu'une barrière continentale existait encore au Crétacé supérieur — tout semble indiquer le contraire et d'ailleurs des passages de formes auraient pu s'opérer au plus fort de la transgression cénomanienne, par la partie du Sahara alors submergée —, en revanche, il est vraisemblable que, les représentants jurassiques de ces groupes n'ayant pu passer des régions septentrionales et mésogéennes dans l'Atlantique sud, leurs formes crétaciques et cénozoïques, déjà reléguées au second plan par suite du développement extraordinaire pris par les groupes plus modernes (Pleurotremata proprement dits, Batoïdes), ne l'ont fait que très exceptionnellement (61). C'est sans doute à ces

(59) Il n'a pas été trouvé dans des formations continentales de cet âge. Par contre, il faut dire que des restes de Mammifères, dont certains incontestablement terrestres, ont été trouvés avec eux.

(60) Pour ce qui est des Squalidés, on pourrait à la rigueur croire à des raisons de bathymétrie ou bien climatologiques, mais non pour les Scymnorhinidés, qui sont des formes littorales et de mers chaudes (à l'état fossile, ils font également partie de faunes typiquement chaudes), c'est-à-dire propres à avoir vécu dans les conditions qui ont dû être celles des régions considérées ici à ces époques, si l'on s'en réfère au contexte faunique.

(61) CASIER, E., 1954, p. 618. Une partie d'ailleurs des exceptions est sans doute à mettre sur le compte des possibilités de passage maritime par d'autres voies (*Acrodus* du Trias d'Afrique du Sud, par l'océan Indien; *Hybodus* éocrétacique de l'Ubangi, par un bras saharien de la Téthys). La découverte récente, par M. M. ANTUNES (1961, p. 513), d'une série de dents de *Ptychodus* dans le Crétacé supérieur de l'Angola — c'est-à-dire des premiers restes de Ptychodontes africains — montre toutefois qu'exceptionnellement au moins leur pénétration dans l'Atlantique sud aurait été rendue possible.

mêmes circonstances qu'il faudrait attribuer l'absence presque complète des Brachiopodes (62) car cela ne peut résulter d'une incompatibilité de faciès.

Aucune possibilité pourtant ne s'offre d'attribuer ces faits à une ancienne séparation des deux moitiés de l'Atlantique par une coalescence plutôt que par un « pont ».

Quoi qu'il en soit, si un empêchement ancien de passage de formes de la Téthys à l'Atlantique sud se vérifiait, et à moins de croire à l'inexistence même du second antérieurement à ces faits (63), ceux-ci seraient plutôt défavorables à l'idée d'ologenèse, du moins généralisée.

Les quelques cas envisagés ci-dessus (64) peuvent se classer comme suit :

1°) ceux qui, bien qu'ils ne puissent constituer des preuves, sont plutôt favorables à l'idée d'un ancien continent africano-sudaméricain, ou tout au moins à celle d'une position des deux continents beaucoup plus rapprochée qu'aujourd'hui; ce sont : le cas des poissons du Dévonien supérieur d'Europe et d'Amérique du Nord, celui des poissons du Crétacé inférieur du Bassin du Gabon et des couches de Bahia ainsi que celui de *Mawsonia*, peut-être aussi celui des Ostéoglossidés.

2°) les cas pouvant aussi bien se concilier avec la théorie d'un ancien « pont » africano-brésilien qu'avec le morcellement d'un continent africano-sudaméricain : le cas des Eusélaciens les plus archaïques, des Squatiniformes et Squaliformes; celui des Myliobatidés, qui s'expliquerait par la disparition, avant leur essor, d'une liaison intercontinentale, que ce soit un pont ou une coalescence, le cas des Dipneustes dont l'histoire paléobiogéographique n'est probablement pas celle qu'on leur a prêtée et n'a même peut-être aucune signification.

S'il n'y a là, en tout, que de faibles éléments quelque peu favorables à l'hypothèse des translations, il n'y a du moins rien qui lui soit opposé.

Certes, la réalité du « Gondwana » en tant que « centre de vie indépendant par rapport à l'hémisphère septentrional » (au Carbonifério-Permien) a déjà été mise en doute par des faits relatifs à la Flore (TEIXERA,

(62) Seule exception connue : des Lingules.

(63) La formation de l'Atlantique avant le Mésozoïque semble prouvée par la présence de sédiments représentant théoriquement plus du laps de temps écoulé depuis le début de cette période, mais est-ce vrai pour l'Atlantique sud ?

(64) A ces remarques relatives aux Poissons j'en ajouterai une qui concerne les Ostracodes et qui s'inspire de celles de N. GREKOFF (1957, p. 19). Ici, nous verrons qu'il y a une toute autre interprétation à donner que celle de relations étroites entre l'Afrique et l'Amérique du Sud. Cet auteur fait un rapprochement entre les ostracodes du Congo et ceux de Bahia (Brésil) et même d'Amérique du Nord, mais, comme il le dit lui-même; l'explication de ce fait pourrait être trouvée dans celle donnée par D. MONGIN pour le cas de mollusques tels que les Unios et Cyrènes : les larves d'ostracodes pourraient, comme dans leur cas, avoir été transportées à des distances considérables par le vent ou par l'eau.

1952, p. 628) et l'origine apparemment boréale de Reptiles théromorphes (J. PIVETEAU, 1937). Ce serait aussi vrai pour les Dipneustes qui paraissent bien n'avoir même pas été liés, à leurs débuts, à la vie continentale.

D'autre part, certains faits ichthyologiques vus ci-dessus s'accorderaient mieux avec la thèse d'une position plus rapprochée de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, donc avec la théorie des translations continentales qu'avec celle d'un effondrement de parties d'un continent. Nous avons vu, d'autre part, que les Poissons du Dévonien seraient également favorables à une telle façon de voir, mais, dans ce cas, pour l'Atlantique nord.

Cela dit, voyons si, dans l'une comme dans l'autre hypothèse, il peut y avoir une relation entre la disparition d'une liaison continentale et certains des phénomènes soupçonnés d'être à l'origine des transgressions.

La disparition d'un « pont » pouvant se rattacher, comme de simples effondrements de parties de continents, aux phénomènes tectoniques dérivant de troubles isostatiques, pourrait, de ce fait, découler aussi de variations de l'activité solaire. Ce qui permet de supposer un synchronisme avec les transgressions, celles-ci étant vraisemblablement dues, comme nous l'avons vu, à cette même cause.

De son côté, le problème de la fragmentation éventuelle d'anciens continents nécessite un appel à diverses hypothèses déjà formulées plus haut, et cela en considérant séparément deux phénomènes se succédant dans le temps, complémentaires l'un de l'autre, mais dont le premier conditionne l'autre : la rupture de masses continentales et l'éloignement subséquent des parties disjointes (disjonction proprement dite, suivie de dérive).

Pouvant encore se concevoir comme une conséquence de troubles isostatiques, la rupture se laisserait rattacher, comme l'effondrement d'un pont, au problème envisagé plus haut, de même que les grandes dislocations de socles continentaux eux-mêmes sont en relation avec les activités « plutoniennes », ce qui est, comme on le sait, indiqué par la coïncidence (significative), avec elles, de marques de volcanisme intense. Il n'en serait d'ailleurs pas autrement pour les fractures qu'on rend responsables de la formation des chaînes sous-marines (65).

Plus difficile à résoudre parce que plus complexe, est le problème de la dérive dont le mécanisme — si dérive il y a — serait loin d'être simple et a d'ailleurs donné lieu à discussion quant aux forces éventuellement en jeu : une poussée vers l'équateur et un déplacement global vers l'Ouest (66).

Les fluctuations de la vitesse de rotation du globe étant de nature à entraîner des variations de la poussée vers l'équateur — ce que semble indiquer l'expérience de JOLY —, nous nous trouverions de nouveau devant

(65) La thèse nouvelle de la formation du sillon océanique ne paraît pas de nature à écarter pour autant la possibilité d'une dérive subséquente. Cette formation du sillon océanique (rift) pourrait d'ailleurs être en relation avec les causes présumées des transgressions : des variations locales (points de moindre épaisseur de la croûte) de la pression magnétique sous l'effet de troubles des courants de convection.

(66) Voir A. WEGENER, 1937, p. 168 et suivantes.

un phénomène qui serait commandé, indirectement, par les variations de l'activité solaire. Lorsque la question des courants de convection et de leur éventuelle canalisation par le jeu de l'électromagnétisme sera mieux connue, il apparaîtra sans doute que les choses se passent comme dans le cas du magnétisme solaire (concentration équatoriale des taches solaires.)

Quant à la supposée dérive des continents vers l'Ouest, on a voulu en trouver la raison dans un frottement de marées (SCHWARTZ, WETTENSTEIN) et l'attraction luni-solaire sur le « globe visqueux ». Il a de plus été fait appel encore à la notion de courant de convection du sima agissant sur le sial (67), les déplacements de continents ayant été supposés dus aux mouvements horizontaux des courants en question. A supposer que ces courants existent réellement et qu'ils auraient ce pouvoir sur le sial, il resterait encore à expliquer le sens vers l'Ouest, mais, pour cela, on pourrait penser à une orientation de celui-ci par l'effet même des fluctuations du régime de la rotation terrestre et en application du principe de l'inertie, produisant une déviation des courants de convection (hypothèse à rapprocher, par conséquent, de l'explication classique de la déviation des vents alizés).

Il est possible aussi qu'un freinage par les masses atmosphériques, comme celui invoqué plus haut dans la théorie sur les facteurs des transgressions, mais différentiel parce qu'agissant de façon prédominante sur le sial, serait responsable de cette dérive et du sens qu'elle suit (68). Les deux hypothèses ne s'excluent pas nécessairement et dans l'une comme dans l'autre, la conclusion quant à la source première du phénomène serait la même que pour la poussée vers l'équateur (69).

En conclusion de ce qui vient d'être dit à propos des translations, on peut croire que les phénomènes qui, dans cette hypothèse, présideraient à la dérive et à la fragmentation qui en a marqué le début seraient de même nature que ceux qui régissent les transgressions avec, comme cause commune, les fluctuations de l'activité solaire. A noter toutefois que, la scission ne pouvant se faire qu'une fois pour toute en un point donné (70), seule la dérive proprement dite serait éventuellement sujette à une périodicité solidaire de celle des transgressions : la dérive serait

(67) Id., p. 169.

(68) Le « courant de sima », s'il existe, ne serait, dans cette deuxième hypothèse, que le résultat d'un effet relatif : un freinage relativement moindre du sima qui n'est pas directement soumis aux effets des vents. Dans ce cas, au lieu d'une poussée, le sima exercerait plutôt une action modératrice de la dérive.

(69) Ceci, sans toutefois pouvoir écarter la thèse de l'« expansion terrestre » à laquelle, soit dit en passant, H. TERMIER accorde sa préférence, mais qui ne rendrait pas, à elle seule, compte du sens Est-Ouest de la dérive.

(70) Il y aurait eu, en tout, fragmentation à plusieurs reprises et notamment une première fois, bien avant celle supposée par WEGENER (voir LEHMAN, et al., 1959, p. 217), mais cette première phase n'aurait pas eu pour résultat la séparation totale de l'ensemble africano-sudaméricain laquelle, s'il faut l'expliquer par la dérive, aurait été plus tardive.

de vitesse variable et peut-être intermittante, la poussée vers l'Ouest lui donnant toutefois une valeur positive au total, et cela en raison de la constance du sens de la rotation.

Associées, dans la théorie dont il vient d'être question, aux déplacements de continents et, dans cette hypothèse, conséquence de ceux-ci, les déplacements polaires (71) se trouveraient du même coup à rattacher, avec eux, au même complexe de phénomènes que ceux qui, dans l'hypothèse des mouvements lithosphériques, seraient responsables à la fois des transgressions et des exaspérations du volcanisme.

Il s'ensuit que l'incidence climatique de ces manifestations — ce dont nous aurons à reparler (72) — pourrait reconnaître la même cause générale : les fluctuations de l'activité solaire. A noter toutefois que les déplacements restant dans une certaine mesure acquis, il n'y aurait pas lieu cette fois de rechercher une alternance de conditions différentes, qui serait parallèle à celle des transgressions et régressions marines.

Plus généralement, les facteurs paléogéographiques — les plus importants peut-être en ce qui concerne les modifications de la biosphère — seraient tous susceptibles de dépendre plus ou moins indirectement de ces fluctuations solaires, même si, en ce qui regarde les transgressions et régressions marines, on fait la part de l'intervention des variations de l'équilibre en CO_2, car, nous l'avons vu, le volcanisme — apparemment aussi conditionné par les fluctuations solaires — serait alors en cause.

Il vient d'être, à plusieurs reprises, question de troubles lithosphériques déclenchés par les phénomènes géophysiques mis d'autre part en cause, plus haut, dans l'essai d'explication générale du mécanisme des transgressions. Les zones orogènes constituant des points de moindre résistance aux variations de la pression magmatique — au même titre que les plaines bathypélagiques —, on peut croire qu'aux mêmes troubles doivent se rattacher leurs pulsations et, plus généralement encore, l'ensemble des phénomènes tectoniques auxquels H. et G. TERMIER ont si judicieusement appliqué le nom de « drame » (73).

II. — LES FACTEURS PALEOCLIMATIQUES ET CEUX DIRECTEMENT IMPUTABLES AUX VARIATIONS DU RAYONNEMENT SOLAIRE OU DU MAGNETISME.

1°) Facteurs climatiques.

Il n'est point nécessaire d'insister sur le caractère important des changements climatiques au cours des périodes géologiques, ni sur celui de leur incidence dans le domaine biologique. Tout cela est bien connu.

(71) Faut-il rappeler qu'il s'agit ici de mouvement *relatifs* des pôles (par déplacement des terres émergées) et non de déplacement *absolus*, ce dont il sera question plus loin.

(72) Voir p. 31 et suivantes.

(73) TERMIER, H. et G., 1953, p. 35.

A certains de ces changements il a déjà été fait allusion parce qu'ils sont étroitement liés aux transgressions ou à l'un ou l'autre des phénomènes auxquels il a été fait appel en tant que facteurs possibles de celles-ci. Il nous faut cependant revenir sur ce qui les concerne spécialement. De plus, il y a lieu de considérer, bien qu'elles soient non pas causes mais plutôt conséquences de changement climatiques, les variations de l'érosion et de la corrasion.

Variations des courants atmosphériques et marins.

On sait que les principales perturbations atmosphériques actuelles sont créées et entretenues par l'échauffement différentiel (suivant la latitude, la saison et, pour un même point, les variations diurnes) (74) à partir du rayonnement solaire et qu'avec elles interfèrent d'autres perturbations liées, celles-ci, aux variations de l'attraction luni-solaire. Il est bien évident que ces perturbations ont pu subir elles-mêmes des remaniements de leur distribution ainsi que des variations de leur intensité au cours des temps.

Il a dû en être ainsi tout particulièrement lors des troubles atmosphériques provoqués. par l'inconstance de l'activité solaire. Le fait, alors, qu'elles se trouveraient, de la sorte, liées aux phénomènes responsables d'autre part de certains des processus transgressifs, suivant la théorie de la relation activité solaire/mouvements lithosphériques, permet de croire à une coïncidence de telles manifestations avec la mise en branle des transgressions, puisqu'une cause initiale leur serait commune.

S'ajoutant à ceux résultant des transgressions elles-mêmes, ces phénomènes météorologiques interviendraient ainsi pour une large part dans les modifications des conditions de vie sur la planète (75). Mais on ne pourrait les confondre avec les causes d'un accroissement général et important de la température, causes qui feront l'objet d'un examen à part.

Quant aux variations des trajets et amplitudes des courants marins, que ce soient des courants de fronts polaires ou des courants d'eaux transgressives, avec toutes leurs conséquences biologiques (par exemple : les multiplications de la répartition des réserves en sels nutritifs et, partant, du plancton), il est évident qu'elles ont pu trouver leurs causes principales non seulement dans l'effet direct des transgressions, mais aussi dans les transformations paléogéographiques qui leur sont consécutives. Par exemple, la communication entre l'ancienne mer du Nord et la mer Arctique paraît avoir été d'abord favorable à l'influence de courants septentrionaux (Paléocène et début de l'Yprésien) dans le Bassin anglo-

(74) C'est sans doute à ces variations diurnes qu'est dû le déplacement des vents alizés d'Est en Ouest bien plus qu'à l'inertie.

(75) Les transports actuels, par les vents, de germes, animalcules, etc... sont choses bien connues. On voit immédiatement ce que des modifications de courants atmosphériques ont pu avoir comme conséquences en cette matière, dans le passé.

franco-belge. Cette influence se serait vue ensuite contrecarrée et, finalement, annihilée par l'influence « téthysienne » qui s'est progressivement installée au cours de l'Yprésien et dont il sera de nouveau question plus loin.

Peut-être faut-il envisager aussi, comme causes proprement mécaniques, les variations de la rotation du globe. L'orientation des courants de fronts polaires étant conditionnée, comme d'ailleurs la dérive glaciaire, par l'influence de la force de rotation de la Terre (76), d'importantes variations de cette rotation ont dû agir sur le comportement de ces courants et, indirectement, sur celui des eaux transgressives. Dans les deux cas, les fluctuations de l'activité solaire pourraient donc être à l'origine des plus importantes de ces modifications.

A propos encore des courants de transgression mais, cette fois, en marge de la recherche des causes, il serait intéressant de savoir s'il n'y a pas de modifications du comportement biologique des Anguilles, qui seraient liées aux transgressions océaniques. Les changements de température et de salinité que celles-ci entraînent sont, en effet, susceptibles d'être causes de modifications, notamment dans la durée de la métamorphose (sans parler de l'effet même des déplacements de courants, sur le sens de la migration des leptocéphales). Ce qui serait vrai pour les transgressions « océaniques » le serait *a fortiori* pour les transgressions « géologiques », dont on sait déjà que, par les modifications géographiques qu'elles entraînent, elles ont nécessairement dû jouer un rôle perturbateur des conditions de migration. Il est peut-être utile de rappeler, à ce propos, la constatation de modifications dans les populations de certains Téléostéens (Cabillaud, Hareng), en synchronisme avec les périodes undécennales des taches solaires (BODVARSON et JONSSON).

Variations climatiques en fonction de perturbations dans les mouvements du globe.

Les conséquences climatiques des variations de la rotation du globe conduisent à envisager un autre aspect de ce qui est, en somme, le même problème.

Nous avons déjà considéré la possibilité de déplacements des pôles du fait de la translation des continents ou de parties de continents, c'est-à-dire de déplacements seulement apparents des pôles, ou, si l'on préfère, de déplacements des terres par rapport aux pôles.

Si de tels déplacements polaires sont relatifs et, d'ailleurs, hypothétiques dans la mesure où l'est la dérive des continents elle-même, il n'en est pas de même de migrations polaires, c'est-à-dire cette fois de déplacements absolus, observés et mesurés de nos jours.

Ces migrations polaires coïncident, selon des observations récentes, avec des modifications du niveau des mers et aussi des phénomènes dont il a déjà été question au début de cette note : d'une part des

(76) LE DANOIS, E., 1938, p. 174.

variations de la vitesse de rotation de la Terre (77), d'autre part des marées terrestres (78). Les variations des mouvements de la planète pouvant s'expliquer par l'effet des perturbations atmosphériques résultant de ces mêmes phénomènes et exerçant un freinage (comme déjà vu antérieurement à propos du mécanisme probable des transgressions), les migrations polaires procèderaient d'une rupture d'équilibre par déplacement de masses dû aux mêmes causes et, en fin de compte, au même titre que les marées de l'hydrosphère (intervenant sans doute elles-mêmes dans l'ensemble des variations de l'équilibre des masses), de variations de l'attraction luni-solaire. Quant à la coïncidence de ces migrations avec les marées terrestres, elle n'indiquerait pas une subordination totale des variations de la rotation aux marées terrestres, mais s'expliquerait par le fait que celles-ci dépendent, comme celles-là, des mêmes variations de l'attraction luni-solaire.

Les variations de l'attraction luni-solaire étant seules en cause ici (avec toutefois, en interférence avec elles, des variations simplement saisonnières, donc annuelles), les migrations polaires dont il vient d'être question ne seraient pas susceptibles de présenter, même au moment du périhélium-nœud apside, une amplitude telle qu'elles pourraient avoir, par elles-mêmes, des conséquences climatiques et biologiques considérables, et ceci rappelle ce qui a été dit plus haut au sujet du caractère insuffisant des causes supposées des transgressions océaniques pour expliquer les transgressions géologiques d'une certaine importance. De même, les troubles internes et isostatiques pouvant résulter des variations de l'attraction luni-solaire ne pourraient être d'amplitude suffisante pour affecter de façon appréciable l'état de la lithosphère (79), mais seulement pour engendrer de faibles oscillations de l'ordre de celles (microséismes) que l'on observe et que l'on sait être subordonnées précisément à des perturbations atmosphériques (80).

Nous avons vu, au premier paragraphe, que la genèse des transgressions « géologiques » comporterait l'intervention de troubles internes, issus de perturbations atmosphériques d'une autre origine, par l'intermédiaire de variations de la vitesse de rotation du globe (81). L'appel fait aux variations de l'activité solaire et non plus à celles de l'attraction luni-solaire pour expliquer ces perturbations atmosphériques permet d'envisager une beaucoup plus grande amplitude des effets et, dès lors,

(77) MELCHIOR, P., 1959, p. 86 : la composante libre des mouvements des pôles serait en relation avec des fluctuations de la vitesse de rotation de la Terre. Notamment des variations annuelles de la position des pôles se rattacheraient à celles, également annuelles, de cette vitesse de rotation.

(78) MELCHIOR, P., *loc. cit.*

(79) De même, les mouvements moléculaires attribués à l'influence de l'attraction lunaire et qui seraient, pour d'aucuns, responsables des surrections, ne peuvent cependant être soupçonnés d'une action d'une telle envergure.

(80) BERNARD, P., 1945, p. 89 : « les perturbations atmosphériques sont réellement causes des oscillations du sol (microséismes) ».

(81) Voir schéma de la p. 52.

une possibilité de changements importants aussi en ce qui regarde l'équilibre des masses en jeu. On peut même se demander, avec A. WEGENER, s'il n'y a pas eu, à certains moments de l'histoire de la Terre, des perturbations de ses mouvements telles qu'elles auraient pu se traduire par des variations sensibles de l'obliquité de l'axe de sa rotation sur le plan de l'écliptique (82).

L'intensité des variations saisonnières de température et d'illumination devant forcément être fonction de cette obliquité (variations des déclinaisons solaires maximales), des changements de celle-ci, importantes en durée et en amplitude, auraient inévitablement entraîné de grandes modifications climatiques et, par voie de conséquence, biologiques.

De même cause initiale que les transgressions « géologiques » (83), de grandes perturbations des mouvements du globe devraient s'être présentées en synchronisme avec ces transgressions. Si la théorie des translations se vérifiait, ces perturbations auraient également toutes chances d'avoir présenté, à un moment d'exceptionnelle amplitude, un synchronisme avec la dissociation de la « Pangea ». Celle-ci, il va sans dire, supposerait de très grands troubles géophysiques, de l'ordre, cette fois, de ceux qui auraient concouru à engendrer, d'autre part, les composantes océanique et lithosphérique d'une importante transgression. Si l'on peut voir dans de telles variations une cause vraisemblable de la disparition ou du retour du cycle saisonnier, on ne peut toutefois pas prétendre que ce soit la seule explication à en donner : nous en avons vu une à propos des effets du CO_2 (p. 19) et nous reverrons cela à propos du volcanisme (p. 37).

La possibilité d'un changement de position des pôles oblige néanmoins à revenir sur une question soulevée plus haut (p. 10), au sujet des transgressions dans les régions de l'équateur. Outre l'éventualité de déplacements des socles continentaux (dans l'hypothèse des translations), des déplacements axiaux peuvent avoir eu pour corollaire des changements dans la position de l'équateur, en sorte que des transgressions comme celles

(82) WEGENER, A., 1937, p. 159. Ce géophysicien a toutefois envisagé plusieurs types de variations axiales de natures bien différentes : les unes superficielles, d'autres profondes, intéressant l'intimité même du globe : déplacements axiaux à l'intérieur du globe (*ibid.*, p. 161), WEGENER ne croyant pas à la permanence du renflement équatorial (*ibid.*, p. 152). Il met lui-même l'accent sur le caractère complexe que présenteraient alors ces phénomènes et la difficulté même de distinguer parfois entre causes et effets. Cela se compliquerait encore s'il fallait ajouter foi à la théorie des mouvements pendulaires de REIBISCH.

Une remarque encore au sujet de déplacements absolus des pôles et surtout d'une éventuelle importance de ceux-ci dans le passé : ceci ne pourrait-il pas enlever à l'hypothèse de la dérive le bénéfice de l'argument fourni par le paléomagnétisme ? Des variations importantes de la position de l'axe sur le plan de l'écliptique compliqueraient la question de l'incidence de la dérive de la croûte par rapport à l'axe, sur la résultante (elle-même variable) champ magnétique « fossile »/champ cosmique.

(83) On ne voit pas très bien comment on pourrait, avec WEGENER, croire à une responsabilité des déplacements polaires dans la genèse des transgressions : il s'agirait plutôt de phénomènes simplement concomitants, parce que résultant les uns et les autres de la même cause.

des régions côtières du Congo et régions voisines ne pouvaient être d'aucun secours pour démontrer l'impossibilité d'admettre à la fois l'équivalence totale des transgressions « géologiques » avec les transgressions « océaniques » et le fait que, selon LE DANOIS, ces dernières ne se manifesteraient pas dans de telles régions.

Quelque importantes que soient les conséquences climatiques que de tels phénomènes géophysiques pourraient avoir eues, ceci ne pourrait, pas plus que les phénomènes envisagés auparavant ni que l'accroissement thermique — important mais très temporaire — par apport météoritique (BOWEN), rendre compte du réchauffement (ou du refroidissement) général que le globe a manifestement connu à certains moments de son histoire. Il nous faut donc considérer spécialement cette question.

Accroissement ou abaissement thermique général. Influences « téthysiennes ».

La réalité de modifications majeures du degré thermique à l'échelle planétaire ne paraît plus discutable aujourd'hui, ayant été illustrée par de nombreux faits paléoclimatologiques mis en lumière au cours d'études de tous ordres et qui ont donné, du même coup, une idée de son importance biologique. Comme exemple de période de grand réchauffement on peut citer l'Eocène, au cours duquel la limite septentrionale, tout au moins, de la zone tempérée chaude et, par conséquent, de la distribution des palmiers, s'est vue considérablement éloignée de l'équateur (84). Inversement, c'est à un refroidissement important du Trias qu'on croit devoir attribuer un ralentissement, sinon un arrêt, de l'évolution d'organismes particulièrement exigeants au point de vue de la température des eaux, comme les Tétracoraux.

La question n'est donc plus de chercher à établir si ces phénomènes se sont manifestés ou non mais bien de savoir si l'on peut attribuer, comme on le fait généralement, des réchauffements aussi importants que celui de l'Eocène à des déplacements d'eaux océaniques d'une transgression, soit qu'il y aurait quand même identité entre transgressions océaniques et géologiques au point de vue des causes (nous avons vu les raisons de croire qu'il n'en est rien), soit que le mécanisme des transgressions géologiques comporterait le même déplacement d'eaux équatoriales, mais de façon plus étendue, ou bien encore s'il faut y voir un effet direct des fluctuations de l'activité solaire. Si la chose a déjà été abordée au paragraphe des transgressions, il convient néanmoins d'y revenir spécialement.

Un accroissement thermique s'est forcément traduit par un élargissement des zones chaudes et un recul des glaces, phénomènes dont la

(84) Plus près de nous, on a observé une courbe climatique ascendante devant correspondre à la transgression flandrienne encore actuellement en cours.

conséquence biologique la plus immédiate a été un remaniement des aires de distribution des organismes et une atténuation, sinon une disparition pure et simple, des provinces faunistiques.

S'il est superflu d'insister sur ces effets biologiques, je crois cependant devoir rappeler qu'une partie au moins de la responsabilité dans le déclin des Reptiles à la fin du Mésozoïque doit, selon toute vraisemblance, être imputée à un refroidissement général (85). Ce refroidissement, rendu d'autant plus opérant que le cycle saisonnier se manifestait alors, aura bénéficié aux Mammifères, homéothermes, et été défavorable aux poecilothermes que sont les Reptiles. Mais, pour essayer d'expliquer l'essor même des premiers, au début du Cénozoïque, il faudra revoir la question à la lumière de ce qui sera dit au sujet d'autres facteurs possibles de l'évolution.

Ainsi qu'il a déjà été dit, ces importantes modifications du climat général du globe doivent tenir à d'autres faits que ceux attribuables aux phénomènes envisagés plus haut et recevoir aussi une autre explication que celle — par un appel au seul effet d'eaux de transgression d'origine intertropicale — proposée par LE DANOIS, et cela, même si l'on considère celles-ci comme pouvant résulter d'une transgression « géologique ». En effet, le synchronisme des périodes de réchauffement avec les grandes transgressions du passé pourrait mieux s'expliquer par le fait que les uns et les autres résulteraient de la même cause : un accroissement sensible de l'activité solaire. Je dis bien m i e u x parce que les transgressions ne pourraient donner lieu qu'à une tendance locale à l'accroissement thermique (86), car il ne s'agirait, dans ce cas, que de simples déplacements d'eaux océaniques (87).

Que l'on fasse davantage crédit, pour l'explication des transgressions, à la théorie des phénomènes géophysiques en chaîne exposée plus haut, ou bien à celle de la glacio-eustasie comme phénomène déterminant, le réchauffement général découlerait directement d'une exaspération des

(85) Il y a toute une série de facteurs invoqués pour expliquer cela et, parmi eux, certains à retenir également comme facteurs probables d'extinction. J'ai tenté d'en faire la somme dans mon récent ouvrage de vulgarisation sur les « *Iguanodons de Bernissart* » (Patrimoine de l'Institut royal des Sc. nat. de Belg.).

(86) Si, comme l'ont écrit H. et G. TERMIER, « les climats sont peu différenciés lors des transgressions téthysiennes », il est vraisemblable que cela résulte bien plus d'un réchauffement général par accroissement du rayonnement solaire que d'un transfert d'eaux équatoriales vers les autres zones provoqué par une transgression océanique.

(87) L'existence des transgressions de type « téthysien » permet de penser que, si elles diffèrent par leur origine, les modifications de l'hydrosphère pourraient être dans les deux cas caractérisées par un déplacement d'eaux relativement chaudes. L'explication de ce fait par LE DANOIS (en ce qui regarde le cas des transgressions océaniques actuelles) est sans doute applicable à celui des déplacements océaniques intervenant dans une transgression géologique. Dans les deux cas aussi, il est parfaitement concevable que ce caractère chaud des eaux transférées serait dû à la répartition des plaines bathypélagiques principalement en zones intertropicales. L'hypothèse des courants de convection viendrait d'ailleurs à point pour expliquer un réchauffement exceptionnel si l'on songe qu'un accroissement de force de leurs mouvements ascendants serait de nature à exercer à la fois une poussée vers le haut et un apport calorifique.

phénomènes solaires. Il n'en serait pas de même de l'explication de G. MATHIEU, s'il fallait, avec lui, ne croire qu'à l'importance de la végétation comme source de modifications de l'équilibre en CO_2 atmosphère/océan.

Ceci n'exclut cependant pas totalement la thèse des influences climatiques locales des eaux transgressives — influences de type « téthysien » —, mais, alors que H. et G. TERMIER (88) y voient la seule cause possible de la présence de faunes et flores chaudes dans des régions septentrionales, ce ne serait qu'un phénomène thermique s'ajoutant à celui, plus important et plus général, résultant d'un accroissement de l'activité solaire responsable en même temps de la transgression.

C'est ce que suggèrent les observations relatives aux conséquences biologiques de la transgression éocène dans le Bassin anglo-franco-belge et plus particulièrement en ce qui regarde les faunes ichthyologiques (89).

Cette transgression s'accompagne d'une élévation très sensible de la température, portant sur l'ensemble de la période et dont les effets atteignirent leur apogée au Lutétien. Ceci est indiqué tant par la faune marine que par la flore dont beaucoup d'éléments ont d'ailleurs été entraînés à la mer par les eaux fluviales.

En ce qui regarde la faune ichthyologique, j'ai pu établir (90) que près de 70 % des espèces de l'Yprésien de Belgique appartiennent à des genres non éteints cantonnés actuellement dans des eaux tropicales ou subtropicales, et que toutes les autres sont de genres dont la répartition géographique, plus vaste, comprend aussi ces mêmes zones climatiques. Quant aux genres éteints, ceux qui ne sont pas propres à l'Yprésien de ce bassin ont été rencontrés ailleurs en association avec des formes chaudes. J'ai pu faire des constatations analogues au cours de mon étude de la faune ichthyologique du London Clay (91). Le réchauffement de l'Eocène proprement dit a fait apparaître dans le Bassin anglo-franco-belge, des formes qui sont fréquentes dès le début du Paléocène, en Afrique.

Que ce climat chaud ait présenté un caractère général, intéressant toute la planète, cela est confirmé par de nombreuses données paléontologiques relatives à d'autres régions. Je citerai en exemple le climat très chaud simultanément dans le bassin dont il vient d'être question et sur les côtes occidentales de l'Afrique durant cette période et il en fut déjà de même au Crétacé supérieur (92).

Toutefois, il y a, dans le Bassin anglo-franco-belge et dès le début de l'Eocène proprement dit, des marques d'un apport de formes ichthyologiques d'origine méridionale et, ce qui est particulièrement intéressant,

(88) TERMIER, H. et G., 1959, p. 53.
(89) Faunes étudiées par M. LERICHE.
(90) CASIER, E., 1946, p. 201.
(91) CASIER, E., « Faune ichthyologique du London Clay » (en cours d'impression *in* Memoirs of the British Museum (Natural History).
(92) CASIER, E., 1957, p. 287.

africaines. La faune ichthyologique du London Clay est particulièrement significative à cet égard (93). Or, cet apport s'expliquerait mieux par un courant d'eaux transgressives à partir des régions équatoriales que par le seul effet du réchauffement général et l'extension des conditions du sillon mésogéen. Il resterait cependant à établir si ces eaux « téthysiennes » sont celles d'une transgression océanique, c'est-à-dire en provenance de relèvement de fonds marins par effet de marées du sima (suivant la thèse de LE DANOIS vue précédemment) où si elles sont d'une autre origine.

La première hypothèse est très vraisemblable car, nous l'avons vu, il n'y a aucune raison pour que des transgressions océaniques du type observé actuellement ne se soient pas produites périodiquement durant une transgression « géologique » et, d'ailleurs, aussi bien au cours d'une régression. Les conditions de dépôt du London Clay suggèrent précisément des oscillations pouvant être en relation avec de telles transgression de courte durée. Sinon, il faudrait penser à l'analogie, déjà supposée plus haut, entre les deux types de transgressions — « océaniques et géologiques — au point de vue de l'origine des eaux de transgressions en dépit de la différence de cause initiale (94).

J'ai exposé d'autre part (95) les raisons de croire à un passage possible des eaux de l'Atlantique sud à l'Atlantique nord dès le Maestrichtien, au plus tard.

Influence climatique du volcanisme.

Ainsi que nous l'avons vu plus avant (p. 18), la thèse de G. MATHIEU (1959) comporte une toute autre explication du réchauffement accompagnant et conditionnant, selon lui, les transgressions, mais, comme nous l'avons également vu, le CO_2 pouvant être responsable d'une uniformisation des climats, il pourrait dans une certaine mesure concourir à un réchauffement (relatif) des régions polaires, mais beaucoup moins vraisemblablement à un réchauffement absolu de l'ensemble de la biosphère. Ceci, même en tenant compte de l'apport en CO_2 du volcanisme.

Quoi qu'il en soit, les conséquences des variations d'intensité du volcanisme sur la climatologie ont évidemment une incidence secondaire sur le comportement des organismes et du même coup sur leur évolution.

Outre l'atténuation des saisons, il faudrait penser à celle des écarts diurnes de la température, et, dans le cas d'un retour à la situation inverse, à un accroissement au contraire de cet écart (par accentuation de la perte nocturne de chaleur par rayonnement), ce qui n'est pas non plus sans conséquences biologiques, ces dernières conditions pouvant notamment être favorables aux homéothermes.

(93) Voir note 91.
(94) Voir p. 14.
(95) CASIER, E., 1954, p. 618.

S'ajoutant à cela, la création d'un climat humide, par accroissement de CO_2 atmosphérique, ou de la désertification dans le cas contraire, contribue à modifier dans une mesure considérable les conditions de vie (96).

Dans l'hypothèse, exposée plus avant, d'une relation entre les variations d'intensité du volcanisme et des fluctuations de l'activité solaire, il va sans dire que tous les phénomènes dont il vient d'être question y seraient également subordonnés.

Arrivés à ce point de l'exposé, nous pouvons dresser le tableau des grandes modifications climatiques susceptibles de s'être présentées au cours des temps géologiques et d'être intervenues, en concurrence et de façon plus ou moins déterminante, dans les transformations du peuplement de la biosphère, ainsi que de leurs causes immédiates :

1°) Réchauffement (ou refroidissement) général et élargissement corrélatif des zones chaudes (ou froides), par suite des variations du rayonnement solaire total reçu par la surface de la planète.

2°) Modifications climatiques par perturbations dans la circulation atmosphérique, elles-mêmes conséquences d'une accentuation des phénomènes électromagnétiques (ou de leur réduction) associée aux variations solaires.

3°) Accroissement (ou régression) des effets thermiques, plus ou moins locaux, des eaux de transgression (comme dans le cas des transgressions océaniques), par variation d'intensité des transgressions (ou régressions) ainsi que par celle des courants de fronts glaciaires, le tout conditionné par les modifications géographiques résultant elles-mêmes des transgressions (ou des régressions) et avec déphasage, toutefois négligeable à l'échelle géologique.

4°) Modifications climatiques par fluctuations du taux de CO_2 dues notamment à des variations de l'activité volcanique et, dans une certaine mesure, à l'extension (ou au recul) de la végétation (?).

5°) Déplacement de zones climatiques par :
   a) troubles des mouvements du globe;
   b) déplacement relatif des pôles par suite de déplacement, en réalité, des aires continentales (subordonné à l'hypothèse de la dérive).

6°) Accentuation (ou atténuation) du cycle saisonnier par variation de l'obliquité du plan de l'écliptique (?).

Des diverses relations exprimées plus haut, on peut, d'autre part, conclure que ces changements climatiques seraient attribuables à des fluctuations de grande amplitude de l'activité solaire, directement pour celui visé au 1°, plus ou moins indirectement pour les autres.

(96) Voir H. et G. Termier, 1959, p. 50.

Il n'est toutefois pas possible d'écarter les phénomènes internes du globe en tant que facteurs capables de modifier directement la température moyenne de celui-ci. Un tel réchauffement du globe, en apparence « par ses propres moyens », serait éventuellement à considérer comme conséquence secondaire de perturbations dans les courants magmatiques envisagées plus haut et, dans ce cas, à verser aussi à l'actif de l'irrégularité du rayonnement solaire.

Les variations de l'érosion et de la corrasion.

Nous avons déjà vu l'érosion marine à propos des transgressions dont elle est à la fois condition et conséquence. Il s'agit, cette fois-ci, de l'érosion facteur géomorphologique d'origine météorologique, c'est-à-dire par les eaux de précipitation et de ruissellement.

Le rôle joué par cette dernière dans l'évolution sculpturale d'aires continentales (action mécanique, à laquelle s'associe d'ailleurs une action chimique) est, comme on le sait, importante et, bien qu'il ait été nié plus haut que ce phénomène puisse être tenu à lui seul pour cause des abaissements de terrains préparant une invasion d'une aire continentale par des eaux océaniques, il faut bien admettre qu'un accroissement de l'érosion coïncidant avec une transgression n'a pu qu'en favoriser les progrès (97). Ce concours n'aurait rien de fortuit dès lors que l'origine des deux phénomènes serait la même. Or, c'est ce qui peut se déduire de la subordination même des variations de l'érosion aux changements climatiques dont il vient d'être question.

Par son intervention dans le déterminisme des transgressions, l'érosion serait ainsi une première fois, mais indirectement en ce qui la concerne, associée avec d'autres facteurs, dans une action génératrice de modifications biologiques importantes. Par l'effet de ses variations sur des régions restées émergées, elle joue de surcroît un rôle modificateur des biotopes et, cette fois, directement, ce qu'on peut dire aussi de la corrasion. Enfin, elle joue un grand rôle aussi dans l'évolution géochimique des eaux océaniques (récupération d'une partie du CO_3Ca stocké antérieurement).

Dans le cas d'une variation négative, avec formation de glaces et régression accrue d'autant, le surcreusement de vallées se manifeste particulièrement, compensé, il est vrai, dans une certaine mesure par des dépôts — des atterrissements notamment — résultant de l'accroissement de la charge des eaux fluviales.

Les variations de l'érosion, pour ne prendre qu'elles, sont évidemment fonction, en premier lieu, de l'activité solaire. Plus indirectement, elles seraient liées aux variations de celle-ci par l'intermédiaire de l'effet des

(97) Une érosion intense et générale a pu d'ailleurs se présenter exceptionnellement et avoir été ainsi une cause majeure d'une transgression par intensification de sa composante continentale (cas du Lias ?).

enrichissements (ou appauvrissements) de l'atmosphère en CO_2 sur l'hygrométrie envisagé d'autre part, de même qu'elles le seraient par l'intermédiaire d'une accentuation de l'écart diurne de température (notamment dans le cas de variations de l'obliquité de l'axe).

2°) Effets biologiques de l'actinisme et du magnétisme.

Il est impossible de dissocier complètement du problème paléoclimatologique celui des influences du rayonnement solaire lui-même. C'est ainsi que nous retrouvons, au nombre des facteurs de cette nouvelle catégorie, le rayonnement calorifique considéré déjà dans le contexte des remarques faites au sujet des facteurs climatiques et dont nous avons vu que ses variations, soit absolues — par fluctuations de l'activité solaire — soit locales — par variations des mouvements du globe —, jouent un rôle propre, important, dans l'évolution de la biosphère.

Autant peut-être que la chaleur, mais d'une autre façon, ce sera la lumière, plus abondamment dispensée sur la surface de la planète à certains moments, qui aura influencé l'évolution des organismes. Toutefois, si le rôle biologique des variations de la luminosité — principalement de celles, d'un effet général, qui auront accompagné les fluctuations de l'activité solaire et, dans une moindre mesure, de celles résultant des variations (probables) de l'obliquité de l'axe du globe par rapport au plan de l'écliptique — est évident (98), par contre, au point de vue purement génétique, il est quelque peu douteux qu'il faille retenir une influence directe, du moins de quelque importance, d'un tel facteur. *A priori*, il n'est guère vraisemblable que les choses aient pu se passer comme on croit qu'elles se sont passées dans le cas des débuts de la vie, ce qui peut se concevoir pour des molécules ou des micelles, à la rigueur pour des organismes unicellulaires, ne le pouvant apparemment pas dans le cas de métazoaires. Cette remarque vaut tant pour une influence hypothétique d'un accroissement de lumière normale que pour celle, en particulier, de lumière polarisée.

La même remarque pourrait d'ailleurs s'appliquer au cas, particulier aussi, des radiations à ondes courtes, les rayons ultraviolets, alors que l'on pourrait cependant considérer leur action sur les organismes comme d'autant plus vraisemblable qu'ils ont été spécialement visés dans la théorie de DAUVILLIER et DESGUIN sur les premières synthèses organiques et que l'écran d'ozone qui s'est formé depuis a très bien pu, à certains moments, céder à la pression, en quelque sorte, d'un pouvoir de radiation solaire exceptionnellement intense (99). Là encore, on pourrait douter

(98) Accroissement des ressources de luminosité par l'assimilation chlorophylienne en général et, parfois, par les algues d'une certaine profondeur.

(99) Idée qui n'est pas sans rappeler celle de H. et G. TERMIER (1959, p. 135) concernant la moindre épaisseur de cet écran à l'équateur et le fait qu'il a pu « s'y déchirer temporairement ».

d'une possibilité d'action sur des organismes complexes, bien qu'une influence indirecte (par l'intermédiaire d'hormones ?) ne soit pas à exclure (100).

Mais une autre objection a été faite à l'hypothèse d'une influence du rayonnement ultraviolet (en même temps d'ailleurs qu'à celle des rayons cosmiques (101)), c'est celle qui s'inspire d'observations faites fortuitement ou expérimentalement et qui conduisent à regarder plutôt cette influence comme non génératrice de mutations favorables, au contraire (102). Toutefois, cette objection n'emporte pas la conviction parce qu'elle ne tient nul compte de ce que les circonstances ont pu être bien différentes dans des conditions naturelles et qu'il reste possible : 1° qu'une distinction soit à faire entre organismes évolués, chez lesquels les modifications des gènes ne pourraient plus être que léthales ou défavorables, et ceux en pleine évolution, « disponibles » à la mutation dans tous les sens et notamment dans un sens bénéfique; 2° que les effets pourraient différer selon la combinaison des radiations en jeu et dont certaines seraient peut-êtres inhibitrices des effets maléfiques d'autres; Il reste que, si l'objection ne paraît pas pouvoir être tenue pour décisive, rien qui soit accessible à l'expérimentation ne peut encore l'écarter.

Les variations thermiques et celles de la luminosité ne sont, par ailleurs, pas les seules manifestations d'une suractivité solaire à pouvoir être soupçonnées d'être responsables d'une telle action directe sur les organismes et, cette fois, l'objection qui vient d'être invoquée ne pourrait en aucune façon être valable.

Il faut se souvenir, au préalable, qu'à une telle suractivité solaire seraient imputables des phénomènes électromagnétiques au niveau de l'ionosphère, phénomènes engendrant des variations sensibles de la radioactivité dans cette même zone de la haute atmosphère.

Si l'on considère que ces derniers phénomènes n'intéressent que l'ionosphère, qui leur doit d'ailleurs ses principales particularités, il ne semble pas que ceci ait pu avoir une influence appréciable sur le peuplement de la biosphère. Il n'en serait pas de même s'il pouvait être établi qu'ils ont pu avoir des moments d'intensité bien supérieure à celle qu'on leur con-

(100) On pense qu'il existerait des perturbations de l'avenir cellulaire en réponse à des sollicitations hormonales. Il n'est dès lors pas exclu que de telles perturbations puissent aller jusqu'à intéresser le génôme et, du même coup, s'inscrire dans le patrimoine héréditaire.

En ce qui concerne les effets des rayons ultraviolets (et surtout de la carence en rayonnement de ce genre) on ne pourrait mieux faire que de consulter la remarquable synthèse de M. NICOLET (1946).

(101) Les rayons cosmiques sont soupçonnés d'avoir été, par leur « bombardement » de la biosphère, à l'origine de certains phénomènes biologiques, mais leurs provenance ne serait peut-être pas solaire. Ils ont pu être plus denses à certains moments, seulement ils pourraient, à en croire les astronomes, résulter d'explosions de supernovae. Il reste toutefois qu'ils sont à envisager ici comme facteurs possibles et mêmes probables de modifications biologiques. Expérimentalement et en association avec des décharges électriques, ils ont déjà montré leur pouvoir de former des hydrocarbures complexes à partir de molécules de méthane.

(102) TERMIER, H. et G., 1959, pp. 135-136.

naît aujourd'hui, car, dans ce cas, il vient immédiatement à l'esprit qu'ils auraient pu se manifester jusque dans la basse atmosphère et dans l'hydrosphère. Or nous avons déjà vu, à propres des transgressions, combien probable était l'existence de moments d'exaspération de l'activité solaire capable d'entraîner de pareils accroissements du magnétisme terrestre.

C'est aussi à une importante intensité du champ magnétique, conséquence d'un exceptionnel rayonnement corpusculaire du Soleil, lors du refroidissement de la croûte terrestre, qu'il a été fait appel pour expliquer le « magnétisme fossile » (DAUVILLIER, 1960, p. 32).

D'autre part, l'augmentation du rayonnement et de la radio-activité qui en résulte paraît bien se traduire, dans le cas du Westphalien du moins, par une plus grande radio-activité des sédiments marins par rapport aux sédiments continentaux (I. DE MAGNÉE, 1952).

A propos de la radio-activité, il y a d'ailleurs lieu de revenir sur la question du CO_2. Une augmentation du taux de celui-ci dans l'atmosphère, par l'effet du volcanisme (103), et une intensification de la radio-activité atmosphérique ayant toutes chances de coïncider, puisqu'elles seraient toutes deux liées à un accroissement de l'activité solaire, on peut concevoir que celui-ci aurait entraîné finalement la présence d'un CO_2 radio-actif plus abondant. Or le rôle du CO_2 est déjà lui-même important en climatologie et, d'autre part, des expériences récentes nous donnent une certaine idée du pouvoir de la radio-activité sur le comportement génétique des organismes.

Les variations géomagnétiques elles-mêmes ne seraient pas non plus étrangères au déclenchement de phénomènes intéressant non seulement les colloïdes inorganiques mais aussi les colloïdes organiques, si l'on s'en réfère à des faits observés : anomalies biologiques attribuées au magnétisme, comme par exemple, des perturbations dans l'albumine du sérum sanguin humain (FILCK, *in* « *Symposium...* », p. 174). On pourrait peut-être se poser la question de savoir si, dans ce cas, ce n'est pas la radio-activité résultant de ces phénomènes magnétiques qui serait la cause directe de ces manifestations biologiques. G. PICCARDI (104) donne toutefois comme établies les réactions des colloïdes des organismes vivants (par exemple du protoplasme) directement aux champs électromagnétiques. Il est un fait également établi c'est que le CO_2 radioactif est absorbé par les plantes qui deviennent ainsi dans une certaine mesure, elles-mêmes radio-actives.

Dans le même ordre d'idées, il faut retenir les réactions, actuellement connues, des acides nucléiques aux variations du magnétisme, ce qui pourrait se concevoir aussi bien dans le cas de transformations de la constitution chimique des gènes. Au total, on peut considérer comme acquis

(103) Et parfois par la réduction de la végétation qu'entraînent les transgressions.
(104) PICCARDI, G., 1956, p. 243.

que les « radiations (électriques et électromagnétiques) qui tombent ou retombent sur la Terre ont un effet marqué sur tous les phénomènes colloïdaux et, par conséquent, sur les phénomènes biologiques » (105).

En toute hypothèse, ce serait encore une fois, quoique de façon plus indirecte, le fait de l'activité solaire (106), et d'importantes fluctuations de celle-ci auraient évidemment pour résultat une intensification (ou une réduction) de pareilles interventions du magnétisme. Le rapprochement déjà fait de variations de ce dernier avec le cycle undécennal de l'activité solaire est bien fait pour faire croire à l'existence, dans le passé, d'importantes fluctuations à ce point de vue.

Même en faisant la part d'une plus grande probabilité d'effets léthaux, voilà donc une série de facteurs restant susceptibles d'avoir joué un rôle important dans l'évolution des êtres vivants et d'avoir été parmi les causes des tachytélies auxquelles il a déjà été fait allusion au début de cette note.

En dehors des effets génétiques, il faudrait tenir compte des influences qu'exercent sur le métabolisme les radiations ultraviolettes et des conséquences d'une carence en radiations de ce type. En s'inspirant de ce qu'a écrit M. NICOLET à ce sujet (107), une cause d'extinction pourrait ainsi être ajoutée à celles que j'ai envisagées à propos de la disparition des Dinosauriens.

Ce sont toutefois les effets génétiques qui retiendront plus particulièrement notre attention ici, en tant que facteurs possibles des tachytélies, mais on ne pourrait passer sous silence les objections auxquelles s'est trouvé exposé le principe même d'une attribution de celles-ci à d'autres facteurs que ceux d'ordre écologique.

On sait que G. G. SIMPSON, qui a introduit la notion de tachytélie ou évolution accélérée, attribue celle-ci au seul effet des isolements géographiques. Certes, la thèse des isolements-causes de diversification, ainsi que les explications qu'en fournissent H. et G. TERMIER imposent la prise en considération de ces facteurs. Les « emballements » sont incontestablement fonction des contingences diverses dont les causes possibles ont été examinées aux paragraphes précédents. Il ne peut davantage être fait abstraction des possibilités évolutives propres à chaque groupe. Mais on ne peut cependant rejeter l'idée d'une intervention d'appoint de l'énergie radiative du Soleil elle-même, car un concours de deux groupes de facteurs externes principaux — celui invoqué par SIMPSON et un accroissement du taux de mutation par intensification de certains phénomènes liés au rayonnement — rendrait mieux

(105) Id., pp. 243-244.

(106) Peut-être pas exclusivement : G. PICCARDI (*op. cit.*, p. 242) fait intervenir des nuages de matière ionisée, en mouvement, dans l'espace interstellaire et créant des champs magnétiques. Il en résulterait des variations saisonnières en relation avec celles du déplacement (mouvements propres + ceux du système solaire) de la Terre dans la Galaxie.

(107) NICOLET, M., 1946, p. 23.

compte de ces « explosions » suivies de radiations adaptatives (108) et, surtout, du fait qu'elles semblent bien coïncider avec les transgressions.

On pourrait encore objecter que, si les mutations ne se produisent plus nombreuses qu'au début d'une transgression, il devient difficile de mettre en cause des phénomènes qui, en principe, ont dû exercer leurs effets durant toute la transgression, ce qui paraît être d'ailleurs le cas pour le réchauffement (109). La seule réponse à cette objection serait, je pense, que toutes ou presque toutes ces mutations se seraient produites d'emblée au début de la période de suractivité solaire, mettant totalement à profit les facteurs actiniques, le potentiel évolutif de chaque forme, la création de nouveaux biotopes et les possibilités d'esbolie, c'est-à-dire des conditions qui, le potentiel des formes mis à part, résultent de modifications également imputables, en dernière analyse, à des fluctuations de l'activité solaire, notamment par le truchement des transgressions.

L'idée même d'une coïncidence des tachytélies avec les transgressions n'a pas été sans s'attirer une grave objection : il n'y aurait qu'illusion d'une telle coïncidence, illusion qui serait due au fait qu'on ne connaît guère que les fossiles des dépôts de transgression (KELIAS). Mais ce n'est nullement l'impression que j'ai retenue de mes propres observations sur les ichthyofaunes de nombreuses formations de tous âges et de régions diverses. Ceci ne concerne toutefois que les faunes marines. Considérée dans cette limite, ma réfutation rejoint la remarque de H. et G. TERMIER (110) sur l'uniformisation de telles faunes durant les vastes transgressions, encore que cette remarque en appelle une autre : l'uniformisation ne se ferait, je pense, qu'après la transgression proprement dite, c'est-à-dire durant la période « étale » faisant suite à la progression des eaux océaniques, en sorte que la transgression elle-même serait, tout compte fait, une cause de diversification.

Voilà qui est à rapprocher des conclusions tirées par C. ARAMBOURG et J. SIGNEUX (111), de leur remarquable étude des faunes ichthyologiques des gisements de phosphates du Nord de l'Afrique. Ces auteurs notent, en effet « une stabilité relative des équilibres biologiques réalisés dans les intervalles des grands événements géomorphologiques de l'histoire terrestre », tandis que « les vagues fauniques successives seraient corrélatives de ces événements ».

(108) Voir remarque p. 2, note 2.

(109) Il a déjà été fait rappel, plus haut, des quelques indications qu'on possède au sujet de ce réchauffement de l'Eocène. Durant toute cette longue période (plusieurs m.a.) et malgré les régressions intermédiaires de moindre amplitude, le climat s'avère avoir été très chaud, notamment dans le Bassin anglo-franco-belge. Pour LERICHE, le maximum thermique se serait situé au Lutétien, mais l'étude des faunes ichthyologiques yprésiennes me conduit à croire que le climat général était déjà arrivé à ce stade dès la fin de l'Eocène inférieur.

(110) TERMIER, H. et G., 1952, p. 65.

(111) ARAMBOURG, C. (avec la collaboration de J. SIGNEUX), 1952, p. 332.

Remarquons toutefois qu'après le correctif apporté plus haut en ce qui concerne les faunes marines, on arrive à cette constatation que, dans l'un comme dans l'autre cas, une transgression déterminerait une diversification. Seulement, H. et G. TERMIER n'envisageaient comme facteur que l'incidence géographique des transgressions, c'est-à-dire les isolements et, de nouveau, il apparaît que la question serait plus complexe.

Pour ce qui est des faunes continentales, et tout particulièrement celles de Mammifères terrestres, le problème se pose différemment selon qu'il s'agit de faunes ayant vécu au cours d'une période transgressive, pendant la période étale ou encore durant une régression.

Prenons cette fois comme exemple l'extraordinaire épanouissement des Mammifères placentaires au début de Cénozoïque et plus spécialement le cas des formes du Paléocène et de l'Eocène inférieur du Bassin francobelge. Ces organismes auront, comme l'ensemble des représentants de leur classe et comme il a dû en être ailleurs, bénéficié, de façon pourrait-on dire différée, du déclin des Reptiles dû au refroidissement général de l'extrême fin du Crétacique et du début du Paléocène, s'ajoutant aux effets du cycle saisonnier. Mais ils auront subi, d'autre part, les influences d'autres facteurs physiques, c'est-à-dire de ceux ayant déterminé des conditions écologiques nouvelles, d'une part, et de ceux dont il vient d'être question, de l'autre.

Au préalable, il convient, je pense, de mettre l'accent sur l'intérêt particulier que présentent les trois principales de ces faunes mammalogiques — la faune cernaysienne, celle de Dormaal (dite d'Orsmael) et celle d'Epernay : 1° ces faunes sont proches tant stratigraphiquement (l'ensemble s'inscrit dans la période comprenant le Landénien et le début de l'Yprésien) que géographiquement; 2° elles sont relativement bien connues et les listes taxonomiques qui en ont été dressées comportent de nombreuses formes; 3° elles présentent des liens évidents de parenté, mais assez de différences pour être distinguées comme devant correspondre à des dépôts non synchroniques. On sait déjà que la première citée est du Landénien et doit correspondre en âge à la fin de la transgression « thanétienne », tandis que la troisième doit être du début de l'Yprésien (« Sparnacien » *stricto sensu*). Par ailleurs, le caractère intermédiaire de la faune de Dormaal indique pour celle-ci un âge intermédiaire aussi entre les deux autres, et d'autres raisons existent de croire qu'elle aurait vécu pendant la période étale, de plus grande extension de la mer landénienne, mais en un point non immergé situé à l'est ou au sud-est de Dormaal, pour voir ensuite ses restes enlevés par l'érosion et transportés par les eaux courantes (au cours cette fois de la régression de la mer) au lieu où on les trouve aujourd'hui (112).

(112) Les données sur les conditions de gisements à Dormaal et sur les différences fauniques seront exposées dans ma note « *Quelques données pour les corrélations stratigraphiques de l'Eocène inférieur dans le Bassin anglo-franco-belge, principalement d'après les faunes ichthyologiques* » (en préparation).

Il est permis de penser que la différenciation de ces faunes s'est opérée non pas parallèlement mais successivement, en trois temps :

1°) Evolution principale, au cours de la transgression landénienne, par effet conjugué du réchauffement ayant affecté le climat continental (113), d'un actinisme accentué et des isolements (faune de Cernay);

2°) Modifications d'ordre secondaire pendant la période « étale » ou le début de la régression, principalement par les mêmes isolements (faune de Dormaal, dite d'Orsmael, comportant encore des formes cernaysiennes (Cf. TEILHARD DE CHARDIN);

3°) Modification complémentaire au début de la transgression yprésienne (faune d'Epernay), de nouveau par des influences pareilles à celles vues au 1°.

Dans son ensemble, cet important changement de faune, à l'aurore du Cénozoïque n'est pas seulement local : il correspond, par exemple, sensiblement à celui observé dans les Wasatch des U. S. A. (114).

Tout cela et le principe même d'une corrélation entre les transgressions et un accroissement de l'actinisme repose sur l'explication des premières par un concours de facteurs géophysiques en chaîne, avec, à leur origine, une accentuation de l'activité solaire, à laquelle fait également appel, en tant que facteur initial, l'hypothèse du déterminisme des transgressions par perturbations glacio-eustatiques. En effet, dans l'hypothèse, retenue plus haut comme la plus vraisemblable, d'un concours des deux groupes de phénomènes, la simultanéité (toutefois avec un certain décalage possible) de l'accroissement du taux de mutation avec une transgression serait de même aisée à concevoir. Au contraire, dans l'hypothèse d'une exactitude des vues de G. MATHIEU, il ne serait guère possible de tenir un même raisonnement, à moins peut-être de donner plus d'importance au volcanisme qu'au facteur végétation.

III. — FACTEURS DIVERS.

S'il n'entrait nullement dans mon propos d'envisager la totalité des facteurs physiques susceptibles de jouer un rôle dans l'évolution biologique, je ne voudrais cependant pas clôturer cet aperçu sans insister quelque peu sur un des facteurs dont il a déjà été question, le CO_2, ni sans en mentionner d'autres, plus étrangers ceux-ci aux questions soulevées aux paragraphes précédents.

A côté d'un problématique effet biologique par le truchement des transgressions et régressions, et de leurs conséquences climatiques, des

(113) Voir remarque p. 44, note 109.

(114) D. E. RUSSEL *in* M. HECHT et R. HOFFSTETTER, 1962, p. 3 (du moins pour Dormaal et Epernay).

variations de l'équilibre en CO_2 ont eu une incidence biologique, plus directement, par les ressources qu'elles fournissent, de façon variable aux organismes marins à test (Mollusques, Brachiopodes, Echinodermes, Crustacés...) ou à endosquelette calcaire (Coralliaires, Eponges et Algues calcaires...).

Si l'on se base sur la faible variabilité du *pH* des eaux océaniques que paraissent démontrer les recherches de W. W. RUBEY, l'accumulation de carbonate de calcium au cours du Crétacique ne paraît pas, *a priori*, pouvoir être attribuée à un accroissement notable et prolongé de la teneur des eaux océaniques en CO_2, mais il n'est pas interdit de penser que l'énorme consommation par les organismes, que supposent de tels dépôts, en aurait été elle-même, par les variations de son développement, le régulateur.

En ce qui concerne les organismes continentaux et non aquatiques, spécialement les végétaux, il est intéressant de noter qu'un accroissement du taux de CO_2 atmosphérique aurait notamment pour effet, selon G. MATHIEU (1952, p. 445), qui s'appuie pour cela sur une expérience de MOLLIARD et CRÉPIN, un gigantisme des Plantes. D'autre part, le même CO_2 aurait un effet néfaste sur les organismes pulmonés. Toutefois, l'exemple des Vertébrés non-poissons du Westphalien, donné par MATHIEU, appelle une réserve : ces organismes n'étant alors qu'à leur début, il est difficile de croire à une telle signification de leur rareté. L'adaptation respiratoire des Insectes de cette même période serait plus convaincante.

Avec ces facteurs de modifications biologiques attribuables au volcanisme, il faut rappeler celles de la teneur des eaux avoisinant les volcans sous-marins en substances minérales, notamment en substances capables de provoquer des hécatombes d'organismes divers (115); de même que l'apport de matériaux de nature à préparer de nouveaux substratums tant pour le peuplement animal que pour le peuplement végétal (116).

Toutes ces manifestations sont évidemment susceptibles de s'être présentées de façon accrue dans la mesure où l'était, à certains moments, l'activité volcanique et dès lors, pour les raisons déjà exprimées à plusieurs reprises, suivant les fluctuations de l'activité solaire.

A celle-ci encore seraient dus d'autres effets biologiques. Cette activité conditionnant, comme on sait, l'assimilation chlorophylienne, ses variations ont nécessairement dû jouer dans le sens d'une activation (ou d'une réduction) de la consommation des nitrates et des phosphates des eaux océaniques par le plancton végétal (notamment par pénétration plus profonde des rayons) et entraîné par conséquent, parfois, la rupture de l'équilibre biologique dans le milieu marin. Cela sans préjudice des modifications de répartition dans les mers suivant les courants dont nous avons vu que leurs trajpets ont dû subir des modifications concomitantes par suite des transgressions ou des régressions.

(115) BRONGERSMA-SANDERS, M., 1945.
(116) Cf. H. et G. TERMIER, 1959, p. 50.

CONCLUSIONS.

Bien que leurs mécanismes soient susceptibles de présenter en commun des soulèvements de fonds marins d'origine différente, cependant) et à la suite de ceux-ci, un apport d'eaux d'origine intertropicale, les transgressions « géologiques » ne peuvent certainement pas être assimilées aux transgressions « océaniques » des océanographes. Tandis que ces dernières seraient dues aux variations de l'attraction luni-solaire suivant un rythme bien connu (« périodes lunaires ») et s'apparenteraient à la fois aux marées marines et aux marées terrestres, les transgressions géologiques, elles, importants facteurs de modifications géographiques, climatiques et biologiques, représenteraient en réalité la somme de deux composantes : l'une océanique, consistant en déplacement d'eaux par relèvement de fonds sous-marins, et l'autre, lithosphérique, consistant en affaissements d'aires continentales. La simultanéité d'entrée en jeu de ces deux composantes s'expliquerait par le fait qu'elles obéiraient malgré tout au même groupe de phénomènes géophysiques : les mouvements de l'écorce terrestre, que l'on sait déjà être responsables des orogénies et des effondrements. Il y a d'ailleurs assez bien de raisons de croire que ces mouvements de l'écorce seraient en relation avec des perturbations des mouvements de convection et des poussées magmatiques qui en résultent et auxquelles on attribue, d'autre part, le volcanisme et les intrusions.

Quant aux causes de ces perturbations magmatiques, cette fois-ci elles ne pourraient être recherchées dans les variations de l'attraction luni-solaire (l'importance de certaines transgressions du passé suggère des mouvements bien plus importants que ceux attribuables à de telles variations), mais, très vraisemblablement, à des fluctuations de l'activité du Soleil, par l'intermédiaire d'une série de phénomènes en chaîne — variations d'intensité des phénomènes électromagnétiques, larges perturbations atmosphériques résultant de ces variations, freinage de la rotation du globe par ces perturbations — ou, plus directement, par un couplage électromagnétique.

Une pareille subordination des transgressions géologiques à des fluctuations de l'activité solaire rendrait compte, du même coup, des grandes variations du climat général de la planète, variations associées précisément à ces transgressions et qui se manifestent à l'échelle planétaire et non pas localement comme celles que l'on peut croire dues aux courants d'eaux transgressives.

Cette interprétation différente des deux cas permettrait de comprendre aussi pourquoi, même en considérant le maximum possible d'une transgression « océanique », les effets de celle-ci ne peuvent être comparables en durée non plus, à ceux d'une transgression « géologique ». Cette différence de durée résulterait de ce que les phénomènes océaniques ne répondraient qu'à une déformation ondulatoire et par conséquent éphémère, pour un point donné, de la croûte terrestre, avec, toutefois, prolongation (relative) des effets en raison du fait que les eaux déplacées

ne peuvent évidemment « rentrer dans l'ordre » instantanément, tandis que, dans le cas des transgressions géologiques, il s'agirait d'une déformation beaucoup plus durable de l'écorce, et de déplacement d'eaux océaniques, sans rapport avec une onde de marée.

Le fait que les causes premières diffèrent et qu'en raison de cela même les rythmes des transgressions géologiques et ceux des transgressions océaniques doivent être sans commune mesure, ce fait n'empêche toutefois pas de croire à la possibilité d'interférence entre les deux séries de phénomènes, ni d'ailleurs à celle d'une intervention de l'attraction luni-solaire sous forme d'irruption préparatoire d'eaux océaniques sur des aires continentales, voire, au niveau de l'écorce, d'une « amorce » du processus de soulèvement.

D'autre part, il ne faut pas perdre de vue que les modifications du niveau des fonds marins ou des aires continentales — plus particulièrement paraliques — répondent aussi à des effets isostatiques dus tantôt à l'accumulation de sédiments ou de glaces, tantôt au contraire à leur enlèvement, par suite de courants, de l'érosion, etc... c'est-à-dire des phénomènes dont les variations trouvent également leur source dans les fluctuations solaires.

Concurremment avec les phénomènes précédents, il faut tenir compte des phénomènes glacio-eustatiques — d'une importance en tout cas indiscutable en ce qui regarde des modifications actuelles du niveau des mers — comme ayant dû intervenir dans une amplification de la composante océanique des transgressions. Or, l'origine qu'on leur reconnaît est également solaire. Les grandes variations de l'activité solaire que présupposent les phénomènes invoqués dans le premier cas expliqueraient de même une amplification des phénomènes glacio-eustatiques. Même origine : une exaspération des troubles solaires. Même conséquence finale : une élévation des eaux océaniques.

Quant aux variations du rapport entre CO_2 atmosphérique et marin, elles doivent être regardées comme un facteur secondaire dans le développement d'une transgression ou d'une régression, et cette intervention — si intervention il y a — ne serait vraisemblablement sensible qu'à des moments d'un important apport en CO_2 par le fait d'un volcanisme accru, et cela, semble-t-il, aussi par l'effet d'une activité solaire plus intense.

Conséquences des transformations géographiques et des modifications climatiques qui en résultent, une partie importante des modifications biologiques, notamment par transformation des biotopes, seraient corrélativement conséquences aussi des fluctuations de l'activité solaire.

Si, par l'intermédiaire des transgressions (ou régressions) qu'elles contribuent, semble-t-il, à créer, les grandes perturbations atmosphériques ont une répercussion importante sur la biologie, une part moins importante des transformations biologiques reviendrait à d'autres facteurs paléoclimatiques, étrangers ceux-ci aux transgressions. Nous avons vu qu'il a pu en être ainsi d'une accentuation ou atténuation des variations

saisonnières, par suite de grandes perturbations des mouvements du globe, mais dans ce cas encore, ce serait dans les phénomènes géophysiques dus en dernière analyse à des fluctuations de l'activité solaire, et par conséquent dans ces fluctuations elles-mêmes, qu'il faudrait voir la cause initiale de ces faits, les phénomènes géophysiques en question ayant pu être à l'origine de dérangements dans l'équilibre des masses — continentales et océaniques — qui en furent le siège.

Jusqu'ici, l'effet direct des modifications du climat général mis à part, nous n'avons eu affaire qu'à une action très indirecte des phénomènes solaires et, si ces modifications climatiques et leurs interventions sont certaines, par contre, sauf dans l'hypothèse d'une attribution à la seule glacio-eustasie, leur attribution au Soleil n'est pas absolument prouvée car l'explication par les phénomènes géophysiques « en chaîne » n'est tout de même qu'hypothétique, de même que celle d'un couplage électromagnétique.

C'est une situation inverse qui se présenterait pour d'autres facteurs de modifications biologiques : ceux qui participent du rayonnement solaire lui-même. S'il est évident, cette fois, que ces facteurs sont variables en raison des fluctuations de l'activité solaire, par contre leurs influences sur le comportement des organismes ne sont pas absolument établies. Ce qu'on peut déjà retenir, dans l'état actuel de nos connaissances, c'est que des influences de radiations existent dans des conditions expérimentales et qu'il est hautement probable qu'elles se produisent dans le cas des radiations solaires, or une accentuation de ces influences peut avoir coïncidé avec un accroissement d'action des facteurs vus précédemment puisque ceux-ci découleraient indirectement de la même source. Ce serait d'ailleurs, nous l'avons vu, le meilleur complément d'explication à donner des tachytélies. Dans l'hypothèse de mutations de deux ordres (WENTREBERT) — les premières au hasard, les secondes orientées parce que résultant d'une influence du milieu — il faudrait croire, pour les premières, à une influence directe des fluctuations du rayonnement solaire, sous forme d'accroissement du taux de mutation, et, pour les secondes, à une influence indirecte des mêmes fluctuations, par suite des modifications diverses du milieu qu'elles entraînent (agissant aussi par voie d'« information », au cours du développement ontogénétique, s'il faut en croire la thèse défendue par R. LAVOCAT).

Remarquons en passant que la possibilité d'influences de certains facteurs internes interposés (voie hormonale), rend assez subtile la notion même de « facteur externe » par opposition à celle de « facteur interne ». Mais il reste qu'on est fondé de parler, avec H. et G. TERMIER (1958, p. 227), de « facteurs externes » à propos de la « température, de l'éclairement et des rayonnements actifs » eux-mêmes.

Les causes de transformations géographiques et les phénomènes climatiques ont été envisagés séparément, et, pourtant, c'est vraisemblablement par leurs actions conjuguées, mais peut-être successivement, que leurs effets ont dû agir sur la destinée des organismes. Par exemple : les grandes transgressions néocrétaciques ont réduit considérablement la surface des

terres émergées, donc le domaine des Vertébrés continentaux. Ensuite des modifications climatiques paraissent avoir entraîné, à la fin de cette période, un assèchement des « swamps », de façon à préparer, à la suite des phénomènes susdits, l'extinction de certains groupes. Cet assèchement est peut-être à regarder comme la conséquence d'une réduction du CO_2 par suite de celle de l'intensité du volcanisme qui doit avoir accompagné la régression de la fin du Crétacé.

C'est, finalement, aux fluctations de l'activité solaire que paraissent bien pouvoir se rattacher, de près ou de loin, les principaux facteurs physiques intervenant ou supposés intervenir dans les modifications de la biosphère et, par voie de conséquence, dans celles des êtres qui la peuplent. Certains de ces facteurs, nous l'avons vu, en découlent *a priori*.

Les transformations de faunes et de flores au cours des temps géologiques seraient ainsi le fait d'un concours non pas absolument fortuit mais bien forcé de phénomènes divers, ceux-ci présentant un lien, tantôt certain, tantôt possible, de causalité avec de telles variations d'activité du Soleil. Les faits biologiques seraient en grande partie imputables à des variations, d'ailleurs aussi bien négatives que positives, de l'activité de cet astre.

Ainsi s'expliqueraient bien des choses observées dans l'évolution des groupes révélée par la Paléontologie et, s'il est permis d'évoquer ici la remarque suivante de C. ARAMBOURG (117) : « Je ne pense pas qu'il soit possible, dans la recherche du mécanisme de l'Evolution, de ne point tenir compte de ces coïncidences entre les pulsations du phénomène biologique et celles de l'histoire de son support terrestre », il conviendrait d'y ajouter que cette histoire elle-même ne reflèterait rien d'autre que celle des phénomènes solaires et, s'il faut généraliser la signification des faits observés récemment, celle du magnétisme solaire.

Cependant, si l'évolution de la biosphère est ainsi liée à l'histoire de l'activité solaire, le retour des mêmes phases de cette activité n'entraîne pas *ipso facto* celui des conditions physiques identiques à celles qui avaient été troublées entre-temps. En ce qui regarde les conséquences biologiques l'irréversibilité de l'évolution morphologique interdit déjà un retour parfait aux mêmes associations.

Vu la complexité du déterminisme de certains changements physiographiques du globe — nous avons vu combien de facteurs peuvent être pris en considération dans la recherche des causes des seules modifications climatiques —, on ne pourrait mieux fixer les idées qu'en représentant l'ensemble des interventions de tous ordres par un graphique.

Dans ce graphique figure l'essentiel des facteurs connus ou supposés et dont il a été question dans les lignes qui précèdent. Ceci n'implique cependant pas la nécessité d'une intervention simultanée de tous ces facteurs. Nous avons vu ce qu'il faudrait en penser en ce qui concerne certains types de transgressions régionales et la possibilité d'intervention,

(117) ARAMBOURG, C., 1952, p. 332.

dans ce cas, d'une seule des composantes d'une transgression, voire son indépendance totale dans le cas où se seraient tout simplement produits des effondrements par suite de rajustements tectoniques concomitants ou subséquents aux mouvements épeirogéniques des périodes de calme relatif comprises entre deux crises géodynamiques.

Cette remarque peut être étendue à l'ensemble des phénomènes mis en cause, mais il va sans dire que ceux d'une même série « en chaîne » sont essentiels.

Le chemin restant à parcourir avant d'arriver à préciser ces notions et à asseoir le principe même d'une unité d'origine des facteurs externes de l'évolution est indiqué par le nombre et l'importance des réserves à faire.

Dans le cas de l'explication du mécanisme des transgressions exposée p. 12 il ne faut pas se dissimuler, en effet, ce que cette façon de concevoir l'enchaînement des faits a d'hypothétique. Basé principalement sur un assemblage de théories plus ou moins conjecturales, l'essai de coordination des facteurs entre eux ne peut être lui-même que sujet à caution. Si cette même théorie explicative des transgressions s'appuie assez solidement sur des faits reconnus par les géophysiciens, le rapprochement avec une explication récente de la périodicité des séismes ne vaut que pour autant que les statistiques qui ont donné lieu à cette explication soient réellement suffisantes pour tirer une telle déduction, ce qui reste à prouver.

Encore qu'elle soit apparemment la seule à pouvoir rendre compte de ce qui a pu se passer au cours du développement d'une transgression océanique, et, par extension du principe, dans le cas d'une des composantes d'une transgression plus complexe (transgression « géologique »), la thèse de LE DANOIS relative aux soulèvements de fonds océaniques appelle quelques réserves car elle s'appuie sur des données encore incertaines et il y a lieu de rappeler le « caractère essentiellement théorique de tout ce qui fait appel à l'état physique du sima et à l'existence de courants sous-crustaux » (118). Que, d'autre part, les lois fondamentales des phénomènes géophysiques invoqués ne sont pas encore précisées et « ne pourront être dégagées que d'une longue suite d'observations » (119).

Au point de vue des faits, la théorie glacio-eustatique offre moins de fragilité, à en juger d'après l'observation de modifications récentes du niveau des eaux océaniques, mais nous avons vu qu'elle ne pourrait pas tout expliquer.

Même nécessité de faire des réserves quant aux effets biologiques du rayonnement solaire :

Si les relations des radiations lumineuses, des ultraviolets, de l'électromagnétisme et de la radio-activité, avec l'activité solaire sont évidentes, leur action biologique n'est qu'hypothèse basée sur des observations dont il serait hasardeux de vouloir étendre sans réserve la portée.

(118) TERMIER, H. et G., 1952, p. 61.

(119) MELCHIOR, P., 1959, p. 94.

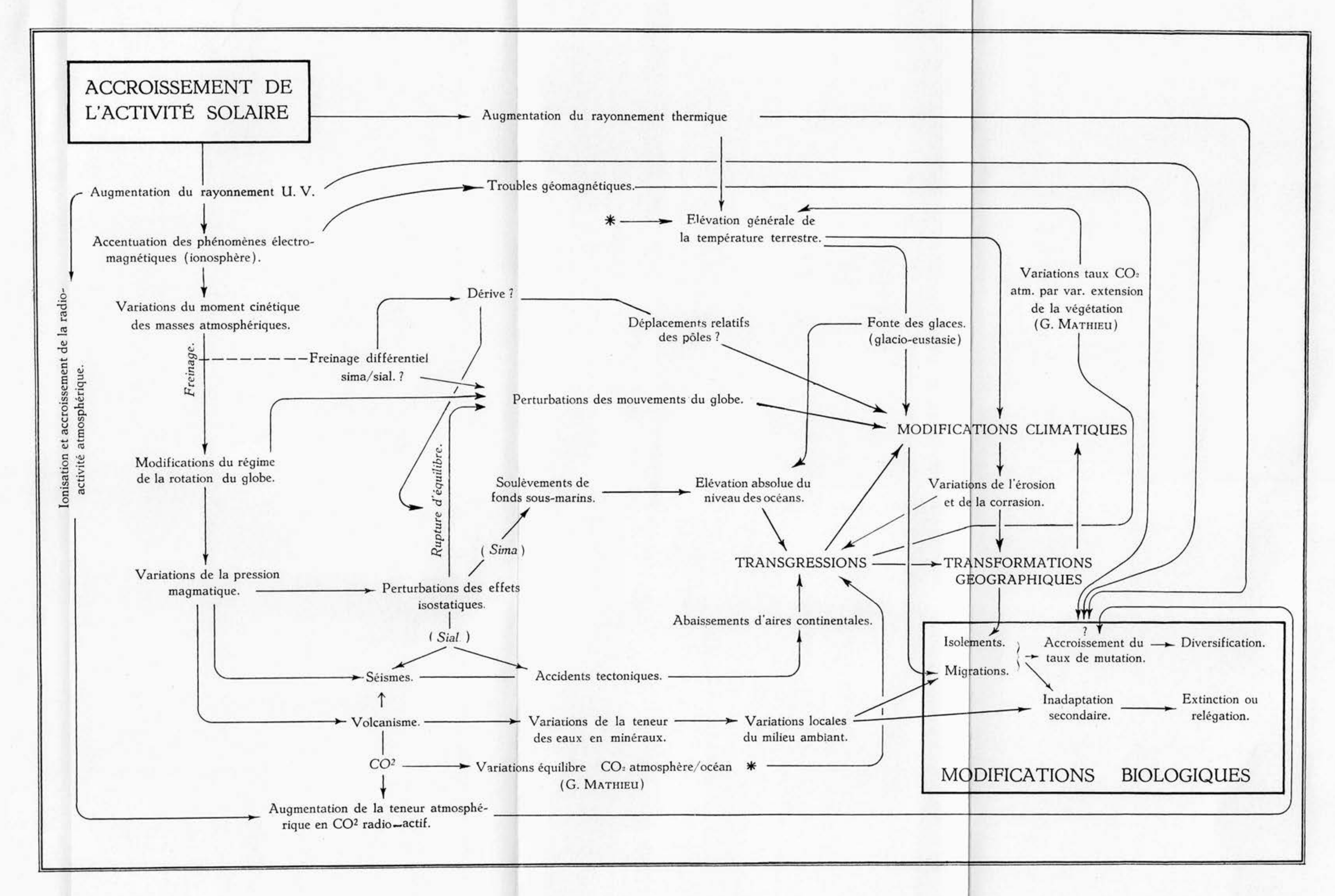


Schéma des relations entre eux des phénomènes invoqués dans l'ensemble des hypothèses sur le déterminisme des transgressions et des autres facteurs de transformation de la biosphère.

* L'élévation générale de la température doit être, dans une certaine mesure, commandée aussi par le cycle du CO2 tel qu'il est conçu par G. MATHIEU. A ce cycle, il y aurait vraisemblablement lieu de raccorder l'apport variable en CO2 du volcanisme.

Hypothèse elle-même, l'idée de fluctuations importantes de l'activité solaire qui rendrait du moins plus concevable une intervention effective de ces facteurs à certains moments.

Que l'activité solaire soit variable, on le sait. Que ses variations aient été, à certains moments, beaucoup plus importantes et qu'elles obéissent à un cycle, voilà qui n'est pas prouvé pour autant. Cependant, l'explication, possible, comme nous l'avons vu, de tout un concours de phénomènes conduisant, si l'on en remonte l'enchaînement, à cette même source, est bien faite pour en renforcer l'impression. Un appel à la glacio-eustasie, pour les faits du passé, exigerait d'ailleurs la même condition. Mais, en supposant réelles d'importantes variations de l'activité solaire, leurs propres causes seraient encore à rechercher. Le réchauffement périodique de la planète étant supposé par LE DANOIS découler de la position du système solaire dans la Galaxie (120), on pourrait cependant croire, en rapprochant les deux hypothèses, à un effet de cette position sur l'activité du Soleil et de celle-ci sur la lithosphère, l'atmosphère, et, par voie de conséquence (mais, en outre, directement), sur le peuplement de la biosphère.

La mise en parallèle des variations à grande période avec les révolutions du système solaire aurait pour corollaire une périodicité de l'ensemble et c'est assurément sur la probabilité d'une telle périodicité que LE DANOIS s'est basé pour en formuler le principe (revoir note 120).

Mais pour les variations de moindre amplitude, se produisant alors dans le courant d'une révolution galactique du système solaire, il ne semble pas, à première vue, qu'elles puissent répondre à un rythme de façon à expliquer la période de 40 millions d'années qui séparerait deux transgressions (121). Elles ne pourraient guère présenter de périodicité et, encore, sans rapport apparent avec cette durée, que dans la mesure où il s'agirait non pas d'effets de l'activité solaire sur la Terre, mais d'effets de facteurs étrangers au Soleil, et cette périodicité résulterait, sans doute, dans ce cas, des variations de la vitesse absolue de la planète dans la Galaxie. Voilà qui est bien hypothétique. En revanche, il est bien établi qu'il existe un cycle undécennal (en réalité de 26 ans), d'évolution des phénomènes solaires et qu'il participe d'une suite de pulsations du magnétisme solaire.

Ceci pour les facteurs imputables à l'inconstance de l'activité solaire. On ne peut cependant refuser toute responsabilité dans le déterminisme de modifications biologiques à ceux découlant des variations de l'attraction luni-solaire : les transgressions océaniques et même les marées ordinaires,

(120) LE DANOIS, E. (1950, p. 39) envisageait comme possible cette relation et y voyait déjà la source de modifications climatiques terrestres (« Cette périodicité de deux cents millions d'années, dépendant des positions variées du Soleil au cours de la rotation galactique, représente le plus important des rythmes cosmiques ayant une influence sur la climatologie terrestre »). Pour lui, dans le rythme de la rotation galactique, le Carbonifère correspondrait au Silurien (ibid., p. 48).

(121) Id., p. 45.

tout au moins en ce qui regarde leur incidence sur la vie marine littorale (adaptation à la vie en zone intercotidale, aux conditions saumâtres, etc.). Il faut même penser à un rôle important de telles variations dans le passage des Crossoptérygiens aux Tétrapodes et, cela, tant en ce qui concerne l'adaptation à la respiration aérienne qu'en ce qui regarde l'acquisition de la tétrapodie.

Est-il besoin de dire que la valeur des déductions faites, quant aux relations entre eux des phénomènes physiques et biologiques du passé d'après les faits du présent, repose sur ce postulat que les lois biologiques sont immuables ? Comme dans le domaine de la Géologie, où l'actualisme est à la base des principales théories explicatives des phénomènes du passé, en « Paléobiologie », cette immuabilité des lois biologiques autorise dans une grande mesure l'extrapolation.

Toutes réserves faites, on peut considérer que le synchronisme des faits relatifs aux faunes et flores anciennes avec les débuts de cycles sédimentaires, par le fait même qu'il y trouve son explication, rend cet ensemble de suppositions acceptable au moins en tant qu'hypothèse de travail, mais il restera néanmoins, longtemps encore et peut-être toujours, une part de mystère en cela car les phénomènes mis en cause portent en grande partie sur des périodes qui n'ont point de commune mesure avec la durée de la vie humaine, ni même avec celle de toute l'histoire de l'Humanité.

* * *

Faisant allusion aux relations existant, selon lui, entre ses « translations continentales », le volcanisme ainsi que l'alternance des transgressions et des migrations polaires, A. WEGENER y voyait un « complexe grandiose ». Grandiose ? Tel que le tableau tracé ici de l'enchaînement de phénomènes nous permet de l'entrevoir, ce complexe, allant du cosmique au biologique et se manifestant sous de si multiples aspects, le serait encore bien davantage !

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

Anonyme.

1948. *Colloque sur le déplacement des pôles et la dérive des continents.* (C. R. Soc. Biogéogr., 19 févr., 20 mai, 26 juil. 1948, n° 215-217.)

1960. *Symposium international. Relations entre phénomènes solaires et terrestres en chimie physique et en biologie.* (Bruxelles, Presses académiques.)

ANTUNES, M. T.,

1961. *Sur la faune de Vertébrés du Crétacé de Iembe (Angola).* (C. R. séances Acad. Sc., Paris, t. 253, pp. 513-514.)

ARAMBOURG, C.

1950. *Le problème de l'extinction des espèces et des groupes* (*in* ARAMBOURG et al. : *Paléontologie et Transformisme).* (Sciences d'aujourd'hui, Paris, Albin Michel.)

1952. (avec la collaboration de J. SIGNEUX). *Les Vertébrés fossiles des gisements de phosphates (Maroc, Algérie, Tunisie).* (Serv. Géol. Maroc, Notes et mém., n° 92.)

ARAMBOURG, C. et SCHNEEGANS, D.

1935. *Poissons fossiles du Bassin sédimentaire du Gabon.* (Ann. Paléont., Paris, t. XXIV, pp. 137 à 160.)

BERNARD, P.

1945. *Répercussions de l'activité solaire sur les phénomènes terrestres.* (Ciel et Terre, Bruxelles, t. 61, pp. 81 à 94.)

BRONGERSMA-SANDERS, M.

1945. *The annual fish mortality near Walvis Bay (S. W. Africa), and its significance for paleontology.* (Arch. néerl. Zool., Oct. 1945, vol. 7, pp. 291-294.)

CASIER, E.

1943. *Contributions à l'étude des Poissons fossiles de la Belgique. IX. Observations sur la faune ichthyologique du Landénien.* (Bull. Mus. roy. Hist. nat. Belg., t. XIX, n° 36.)

1946. *La faune ichthyologique de l'Yprésien de la Belgique.* (Mém. Mus. roy. Hist. nat. Belg., n° 104.)

1954. *Essai de Paléobiographie des Euselachii.* (Vol. Jubil. V. VAN STRAELEN Bruxelles, pp. 575 à 640.)

1957. *Les faunes ichthyologiques du Crétacé et du Cénozoïque de l'Angola et de l'Enclave de Cabinda. Leurs affinités paléobiogéographiques.* (Comun. Serv. Geol., Portugal, t. XXXVIII, pp. 269, 290.)

1958. *Contribution à l'étude des Poissons fossiles des Antilles.* (Mém. Suisses de Paléont., vol. 74.)

1961. *Matériaux pour la Faune ichthyologique éocrétacique du Congo.* (Ann. Mus. roy. Afr. Centr., sér. 8°, et Sc. géol., n° 39.)

DAUVILLIER, A.

1958. *Le volcanisme lunaire et terrestre. Origine des continents, des océans et des atmosphères. L'énergie géothermique.* (Paris, éd. Albin Michel.)

1960. *Le Soleil et la Terre. La théorie oscillatoire de l'activité solaire. Les relations entre les phénomènes solaires et terrestres.* (Conférences du Palais de la Découverte, Paris, sér. A., n° 260.)

DAUVILLIER A. et DESGUIN, E.

1942. *La genèse de la vie. Phase de l'évolution biochimique.* (Paris, Hermann & Cie, éd.)

DELECOURT, J.

1946. *Deux dates mémorables dans l'histoire des océans.* (Bull. Soc. belge de Géol., Pal. et Hydrol., t. LV, pp. 130-146.)

DORF, E.

1957. *The Earth's changing climates.* (Weatherwise, vol. 10.)

FURON, R.,

1941. *La Paléogéographie. Essai sur l'évolution des continents et des océans.* (Paris, Payot, éd.)

1958. *Causes de la répartition des êtres vivants. Paléogéographie, Biogéographie dynamique.* (Paris, Masson, éd.)

GREKOFF, N.

1957. *Ostracodes du Bassin du Congo.* I. (Ann. Mus. roy. Afr. Centr., Tervuren, sér. 8°, Sc. géol., vol. 19.)

HAUG, E.

1900. *Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des transgressions et des régressions.* (Bull. Soc. géol. France, 3e sér., t. XXVIII, pp. 617-711.)

HECHT, M. et HOFFSTETTER, R.

1962. *Note préliminaire sur les Amphibiens et les Squamates du Landénien supérieur et du Tongrien de Belgique.* (Bull. Inst. roy. Sc. nat. Belg., t. XXXVIII, n° 39.)

LALLEMAND, O. et PRÉVOT, E.

1929. *Variations lentes du niveau moyen de la mer.* (C. R. Ac. Sc., Paris, n° 188, pp. 1345 à 1348.)

LE DANOIS, E.

1921. *Rapports atlantiques du Conseil International pour l'exploration de la mer,* 1921-1922.

1938. *L'Atlantique. Histoire et vie d'un océan.* (Paris, Albin Michel éd.)

1950. *Le rythme des climats dans l'histoire de la Terre et de l'Humanité.* (Paris, Payot éd.)

LEHMAN, J.-P., CHATEAU, C., LAURAIN, M. et NAUCHE, M.

1959. *Paléontologie de Madagascar XXVIII. Les Poissons de la Sakamena moyenne.* (Ann. Paléont., Paris, t. XLV, pp. 177 à 219, pl. V-XXIII.)

LOMBARD, A.

1951. *Les mouvements de l'écorce terrestre et leur enregistrement géologique.* (Revue de l'Université de Bruxelles, 1950-1951, n° 1.)

MAGNÉE (DE), I.

1952. *Observations sur la radio-activité des horizons marins du Westphalien belge.* (C. R. 3e Congrès pour l'étude de la strat. et géol. du Carbonifère, Heerlen, t. III, pp. 429-434.)

MATHIEU, G.

1951. *Réflexions sur le milieu biologique terrestre permo-carbonifère.* (C. R. 3e Congrès pour l'étude de la strat. et géol. du Carbonifère, Heerlen, t. II, pp. 443-452.)

1959. *Les cycles géologiques de transgression et de régression marines sont commandés par l'équilibre en gaz carbonique atmosphère-océan.* (Bull. Soc. Et. Sc. Angers, N. S., t. 2., pp. 131-134.)

MELCHIOR, P. J.

1955. *Les divers aspects des marées terrestres.* (Bull. Soc. belge de Géol., Pal. et Hydrol., t. LXIV, pp. 252-301.)

1959. *Relations entre les mouvements du pôle et les fluctations de la vitesse de rotation de la Terre* (Observ. roy. de Belg., Comm. n° 155, et Astron. Journ. 64, n° 3, april 1959.)

NICOLET, M.

1946. *Le rayonnement solaire et son activité biologique.* (Ciel et Terre, Bruxelles, pp. 16 à 28.)

PETTERSSON, O.

1905. *Über die Wahrscheinlichkeit von periodischen Schwankungen in dem Atlantischen Strome und seinen Randgewässern.* (Stockholm.)

1908. *Ueber Meeresstromungen Oeffentlicher Vortrag, gehalten im Institut für Meereskunde am 6 März 1908.* (Verh. Inst. für Meereskunde u. des Georgr. Inst., 12, Berlin, Mittler.)

PETTERSSON, O., CLEVE, P. T. et EKMAN, G.

1901. *Variations annuelles de l'eau de surface de l'Océan Atlantique.* (Göteborg.)

PICCARDI, G.

1956. *L'influence des phénomènes terrestres, solaires et cosmiques sur les réactions physico-chimiques et biologiques.* (Ciel et Terre, Bruxelles, pp. 227-244.)

PIERART, P.

1959. *Contribution à l'étude des spores et pollens de la flore à Glossopteris contenus dans les charbons de la Luena (Katanga).* (Ac. roy. Sc. col., cl. Sc. nat. et méd., Mém. in 8°, n. s., t. VIII, fasc. 4).

PIVETEAU, J.

1937. *Un reptile dicynodonte d'Indo-Chine. Les Reptiles théromorphes et la notion de continent de Gondwana.* (Ann. Soc. Géol. Nord, t. LXII, pp. 122-127.)

1939. *Un thérapsidé d'Indo-Chine. Remarques sur la notion de continent de Gondwana.* (Ann. de Paléont., Paris, t. XXVII, fasc. 4.)

ROMER, A. S.

1960. *Explosive Evolution.* (Zool. Jb. Syst., Iena, Bd 88, h. 1, pp. 79 à 90.)

SANDERS, P.

1955. *La structure des bassins océaniques d'après les données séismologiques.* (Ciel et Terre, Bruxelles, pp. 298 à 314.)

SIMPSON, G. G.
1944. *Tempo and mode in evolution.* (New York, Columbia Univ. Press.)
STOKES, W. L.
1960. *Essential of Earth history. An introduction to historical Geology.* (Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall Inc. éd.)
TAZIEFF, H.
1949. *Quelques considérations sur les causes du volcanisme.* (Bull. Soc. belge Géol., Pal. et Hydrol., t. LVIII, pp. 195-205.)
TEILHARD DE CHARDIN, P.
1927. *Les Mammifères de l'Eocène inférieur de la Belgique.* (Mém. Mus. roy. Hist. nat. Belg., vol. 36.)
TEIXEIRA, C.
1952. *La Flore fossile du Karroo de la Zambézie et la notion de continent de Gondwana.* (C. R. 3e Congrès pour l'étude de la Strat. et la Géol. du Carbonifère, Heerlem, t. II, pp. 627-630.)
TERMIER, H. et TERMIER, G.
1952. *Histoire géologique de la Biosphère (1re partie de : Traité de Géologie).* (Paris, Masson éd.)
1953. *Géologie et Pétrogenèse.* (Serv. Carte géol. Algérie, Alger.)
1959. *Evolution et Paléogéographie.* (Paris, Albin Michel, éd.)
VAN MIEGHEM, J., VAN DEN DUNGEN, F. H., COX, J. J.
1959. *Sur les irrégularités de la rotation de la Terre.* (Ac. roy. Belg., Cl. Sc., 5e sér., t. XLV, 2, pp. 69-71.)
WEGENER, A.
1937. *La genèse des continents et des océans* (Traduction par A. LERNER) (Paris, libr. Nizet et Bastard.)
WEILER, W.
1923. *Die Fischreste aus den bituminösen schiefern von Ibando bei Bata (Spanische Guinea).* (Palaeont. Zschr., bd V, h. 2, pp. 148-160.)

INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES DE BELGIQUE.